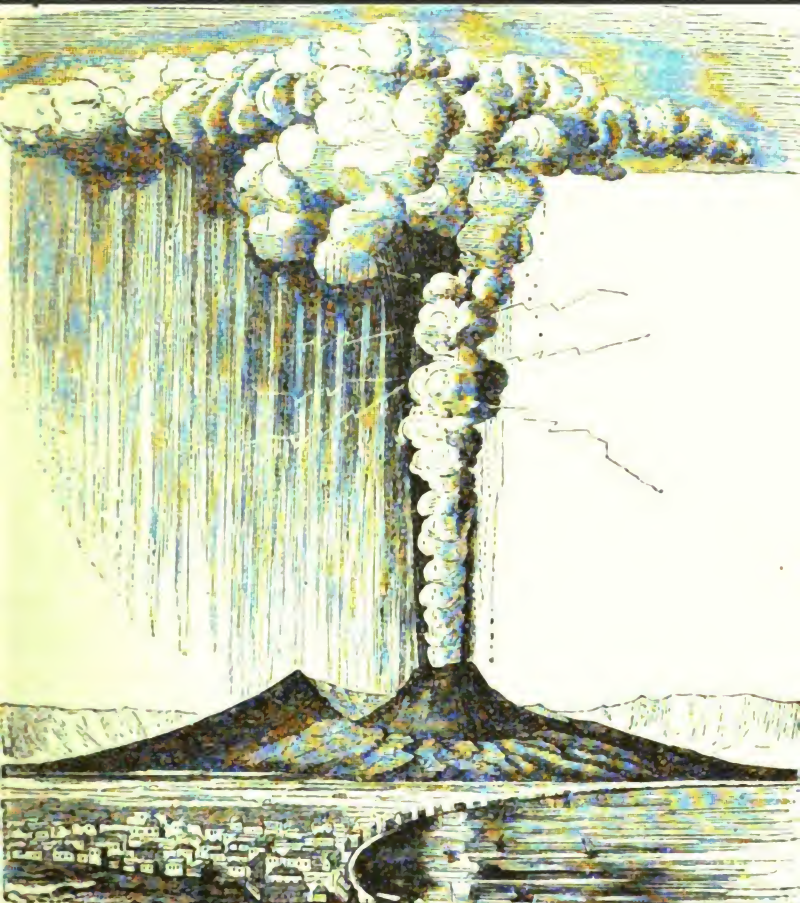


Physische Erdkunde

Oscar Peschel, Gustav Leipoldt

PHYSISCHE ERDKUNDE.

ERSTER BAND.

PHYSISCHE ERDKUNDE.

NACH DEN

HINTERLASSENEN MANUSKRIPTEN

OSCAR PESCHELS

SELBSTÄNDIG BEARBEITET UND HERAUSGEGEBEN

VON

GUSTAV LEIPOLDT.

ZWEITE, VIELFACH VERBESSERTE AUFLAGE.

ERSTER BAND.

MIT 95 KARTENSKIZZEN UND ERLÄUTERNDEN ABBILDUNGEN.

LEIPZIG,
VERLAG VON DUNCKER & HUMBLOT.
1884.

DEM

ANDENKEN

OSCAR PESCHELS,

DES

UNVERGESSLICHEN MEISTERS GEOGRAPHISCHER FORSCHUNG,

IN DANKBARER VEREHRUNG

GEWIDMET.

VORWORT

zur ersten Auflage.

Es war am 31. August 1875, als ein sanfter Tod den viel gefeierten Genius hinwegnahm, welchem das vorliegende Werk seine geistige Urheberschaft verdankt. Die Trauerkunde von dem Dahinscheiden Oscar Peschels erweckte in allen Gauen des deutschen Vaterlandes und weit über seine Grenzen hinaus um so tieferes Bedauern, als der Verblichene noch im rüstigsten Mannesalter, mitten in dem thatkräftigsten Wirken und Schaffen stand. Fürwahr, eine der schönsten Zierden der deutschen Wissenschaft war mit ihm in das Grab gesunken! Wer sich jemals mit dem Studium eines seiner Werke befafst hat, wird in ihm von Schritt zu Schritt den geistreichen Denker, den gründlichen Forscher erkannt und bewundert haben. Noch viel mehr aber ist das Herz für den bewunderungswürdigen Mann allen denjenigen aufgegangen, die das Glück hatten, als Schüler zu des Meisters Füfsen zu sitzen und Jahre lang zu ihm in näheren Beziehungen zu stehen. Genossen sie doch neben den reichsten wissenschaftlichen Anregungen die persönliche Liebenswürdigkeit des grofsen Gelehrten in einem Mafse, wie man sie unter ähnlichen Verhältnissen vielleicht selten findet!

War Peschel auch lange vor seinem Scheiden von Todesahnungen erfüllt, so mochte er doch nicht glauben, dafs das herbe Geschick ihn so bald ereilen sollte. Am 30. August, also einen Tag vor seinem Tode, als er bereits das Ende nahen fühlte, äufserte er: „Ich hätte noch so vieles, hauptsächlich Litterarisches zu ordnen; aber es kam jetzt gar zu rasch.“ Vor allem waren es die Kollegienhefte über europäische Staatenkunde und über physische Erdkunde, welche den Kern des unvollendeten litterarischen Nachlasses bildeten. Mit wahrhaft rührendem Fleifse hatte Peschel, obwohl körperlich ganz gelähmt, bis etwa eine Woche vor seinem Tode immer noch Notizen in dieselben eingetragen — ein Beweis dafür, dafs ihm diese Hefte sehr teuer waren und dafs er wohl an eine Bearbeitung derselben nach seinem

Tode gedacht haben mag. Irgend welche bestimmten Dispositionen über dieselben hat er jedoch nicht getroffen. Nur erwiderte er auf die Frage seiner Gattin, was mit seinen Kollegienheften werden solle, dafs sich in ihnen nur einer seiner Schüler zurecht finden könne, der die betreffenden Kollegien nicht allein gehört habe, sondern auch selbst eine gute Nachschrift besitze; in solchem Falle aber könne er sie wohl zu einer Bearbeitung benützen.

Nie würde es mir, der ich damals kaum das akademische Studium absolviert hatte, in den Sinn gekommen sein, ein so schwieriges und verantwortungsvolles Werk zu übernehmen, wenn nicht Herr Professor Dr. Alfred Kirchhoff in Halle, dem ich in mannigfacher Beziehung zu innigem Danke verpflichtet bin, mich gegen Anfang November 1875 direkt hierzu aufgefordert hätte. Frau Geheimrätin Prof. Peschel stellte mir hierauf in zuvorkommendster Weise die von mir gewünschten Manuskripte zur Verfügung, und ich erwählte mir die physische Erdkunde zur Bearbeitung, nicht blofs weil sie von jeher ein Lieblingsgegenstand meines Studiums war, sondern auch weil ich die Vorlesungen über dieselbe zweimal (im Sommer 1871 [1]) als zweistündiges, im Winter 1872 zu 1873 als vierstündiges Kollegium) gehört hatte. Meinem verehrten Freunde Herrn Dr. O. Krümmel, Privatdocent in Göttingen, fiel die Herausgabe der europäischen Staatenkunde zu.

Was die hinterlassenen Hefte betrifft, so enthielten diese keineswegs die bis ins Detail ausgearbeiteten Vorträge, sondern meist nur skizzenartige Andeutungen. Peschel beherrschte, wie sich dies insbesondere in den Kolloquien und bei den Übungen im geographischen Seminar unverkennbar zeigte, den Lehrstoff mit einer aufserordentlichen Sicherheit und Klarheit; daher genügte ihm denn auch für seine Vorlesungen eine etwas specialisierte Angabe des Gedankenganges völlig. Der Herausgeber besafs demnach zu dem vorliegenden Werke wohl den von dem Meister entworfenen Plan, gewissermafsen die scharf vorgezeichneten Grundlinien; aber die Aufführung des Gebäudes war zu einem nicht geringen Teile seine eigene selbständige Arbeit.

Im Anfang beabsichtigte ich, die Vorlesungen Peschels auf Grund seiner und meiner sehr reichlichen und lückenlosen Aufzeichnungen möglichst getreu so wiederzugeben, wie sie von ihm selbst gehalten worden waren. Die auf diese Weise geschaffenen Abschnitte befriedigten mich jedoch so wenig, dafs ich mich sehr bald genötigt sah, ein ganz anderes Verfahren einzuschlagen. Sollte das Werk auf sicherem Fundamente ruhen, so mufste ich überall auf die von Peschel benützten Originalquellen zurückgehen und das ganze umfang-

[1]) Peschel eröffnete Ostern 1871 mit diesen Vorträgen seine akademische Thätigkeit.

reiche Material, welches Peschel selbst verwertet hatte, einem eingehenden Studium unterwerfen. Erwünschte Fingerzeige gaben mir hierbei nicht nur die Manuskripte selbst, in denen sich zahlreiche Citate vorfinden, sondern auch diejenigen Jahrgänge des „Auslandes“, welche Peschel selbst redigiert hatte. Erst nachdem dies geschehen war, vermochte ich mit gröfserer Sicherheit den Gedanken des Meisters nachzugehen, in seinem Geiste das Werk weiter auszubauen und zu vollenden. Selbstverständlich sind von mir auch alle diejenigen wissenschaftlichen Arbeiten berücksichtigt worden, welche seit Peschels Tod erschienen sind. Fast vier Jahre hindurch habe ich nahezu alle meine Mufsestunden und Ferien, die mir der Beruf eines Gymnasiallehrers gewährt, unverdrossen diesem Werke gewidmet; es würde mich sehr freuen, wenn dies nicht ganz ohne Erfolg gewesen wäre.

Naturgemäfs mufste ich die „Neuen Probleme der vergleichenden Erdkunde“ mit in das Werk aufnehmen. Sie wurden bereits vor mehr als zehn Jahren niedergeschrieben; es ist daher leicht begreiflich, dafs sich mannigfache, hie und da sehr bedeutende Änderungen und Ergänzungen notwendig erwiesen. Ich habe mich hierbei immer von dem Grundsatze leiten lassen, nur da die Hand zu Korrekturen anzulegen, wo es mir dringend wünschenswert erschien oder wo Peschel selbst es angedeutet hatte. Jeder den „Neuen Problemen“ entlehnte Abschnitt ist übrigens mit einer darauf bezüglichen Nota versehen, welche zugleich ausspricht, in welchem Grade derselbe einer Neubearbeitung bedurfte.

Von denjenigen Männern, welche selbst Peschels Vorlesungen über physische Erdkunde einst gehört haben, möchten mir vielleicht einige den Vorwurf machen, dafs ich mehrfach zu weit von der gegebenen Grundlage abgewichen sei und dafs ich mich strenger an das von Peschel hinterlassene Manuskript hätte halten sollen. Ich darf hierauf erwidern, dafs ich in dieser Hinsicht jedenfalls ganz in Peschels Sinne gehandelt habe. Zum Zeugnis hierfür berufe ich mich auf eine Stelle aus dem Berichte Peschels über das Werk „Briefwechsel A. v. Humboldts mit Heinrich Berghaus“ (Leipzig 1863), in welchem Peschel wörtlich folgendes sagt (s. Ausland 1863, S. 1082 f.):

„A. v. Humboldt war von Paris nach Berlin übergesiedelt, und von dort schreibt er im Dezember 1827: „„Die unerwartet lebhafte Teilnahme, welche meine Vorlesungen über physische Geographie finden, wodurch ich mich sehr beschämt fühle, wird wahrscheinlich Anlafs geben, dafs ich sie in irgend einer Form drucken lasse.““ Dies war die erste Anregung zu dem späteren Kosmos. Herr v. Cotta (der Grofsvater) machte A. v. Humboldt den Vorschlag, er solle die

Vorlesungen stenographisch niederschreiben lassen, dann sie überarbeiten und in dieser Gestalt veröffentlichen. Er mifskannte aber darin A. v. Humboldt gänzlich. Das Wort auf dem Lehrstuhl ist doch ein anderes als das geschriebene Wort, und nichts ist dem Ruhme grofser Gelehrten schädlicher gewesen, als wenn man Kollegienhefte aus ihren Vorlesungen in Umlauf gesetzt hat. A. v. Humboldt sagte daher ausdrücklich, dafs ein geschriebenes Werk reiflicher überlegt und durch Citate beglaubigt werden müsse. Endlich war noch ein anderer Grund vorhanden. Ein Mann von so hohem schriftstellerischen Rang wie A. v. Humboldt macht, wenn er gedruckt vor der Welt erscheint, stets eine strenge stilistische Toilette . . . Wenn auch sein mündlicher Vortrag nach dem Urteil aller, die ihn gehört haben, hinreifsend und bezaubernd gewesen sein soll, so folgt doch daraus noch nicht, dafs es der gedruckte Vortrag auch gewesen sein müfste.“

Diese Worte rechtfertigen mein Verfahren völlig. Noch einmal unter Benützung der Originalquellen das Ganze sorglich zu prüfen, es in Peschelschem Geiste darzustellen, ihm eine ansprechende Form zu verleihen, soweit dieselbe nicht schon vorhanden war, und es durch Litteraturnachweise zu ergänzen: dies alles erschien mir unter den vorliegenden Umständen ebenso sehr Pflicht zu sein, wie es in dem obigen Falle unter ganz ähnlichen Verhältnissen A. v. Humboldt und ebenso Peschel als solche erkannten.

Schliefslich erlaube ich mir noch, Herrn Prof. Dr. A. Kirchhoff in Halle a. S., Herrn Prof. Dr. S. Ruge in Dresden, Herrn Dr. O. Krümmel in Göttingen, sowie all den Freunden, die mir wiederholt mit Rat und That bei dieser Arbeit zur Seite standen, für ihre freundliche Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Vor allem aber gedenke ich, indem ich dieses Werk der Öffentlichkeit übergebe, in dankbarer Liebe des unvergefslichen Mannes, dem dasselbe gewidmet ist und dessen Geist aus diesen Blättern spricht. Möge dieses Werk ein Denkmal sein, welches des grofsen Meisters nicht unwürdig ist!

Dresden, am 27. Juli 1879.

Dr. phil. **Gustav Leipoldt,**
Oberlehrer am Kgl. Gymnasium zu Dresden-Neustadt.

VORWORT

zur zweiten, vielfach verbesserten Auflage.

Die freundliche Aufnahme, welche die „Physische Erdkunde“ in den weitesten Kreisen gefunden hat, darf wohl als ein Beweis dafür angesehen werden, dafs dieses Werk einem wirklichen Bedürfnis entspricht. Ich hatte daher keine Veranlassung, den Plan der „Physischen Erdkunde“ in der zweiten Auflage wesentlich zu verändern. Um so eifriger war ich bemüht, den zahlreichen bedeutsamen Fortschritten, welche in dem letzten halben Jahrzehnt auf dem Gebiete der physischen Erdkunde gemacht worden sind, Rechnung zu tragen. Infolge dessen erfuhren die meisten Kapitel wesentliche Umgestaltungen und beträchtliche Erweiterungen, und so hoffe ich, dafs das Werk dem heutigen Stande der Wissenschaft wieder gerecht wird. Wenigstens habe ich mit allen Kräften diesem Ziele nachgestrebt.

Auch in dieser Auflage sind stets die benutzten Quellenwerke verzeichnet, und wo es der Raum nicht gestattete, dieselben in erschöpfender Weise anzuführen, sind wenigstens diejenigen Werke genannt, welche für die betreffenden Kapitel die weiteren Litteraturnachweise enthalten. Somit gewährt das Werk genügende Fingerzeige allen denen, die sich mit irgend welchem Teile der physischen Erdkunde eingehender zu beschäftigen gedenken. Die Aufzählung der Hilfsquellen erschien mir um so wichtiger, als sich bisher noch keine Physische Erdkunde eine ähnliche Aufgabe gestellt hat und als ferner das hierher gehörige Material in so zahlreichen Zeitschriften und anderen Publikationen niedergelegt ist, dafs es schon gegenwärtig viele Mühe bereitet, über die neuere Litteratur der physischen Erdkunde eine Übersicht zu gewinnen.

Zu besonderem Danke bin ich dem Herrn Verleger verpflichtet, welcher zahlreiche Kärtchen und Illustrationen umarbeiten liefs und aufserdem eine Anzahl neue dem Werke beigab.

Möge sich auch diese zweite Auflage in den Kreisen der Fachgenossen wie bei allen Freunden der Erdkunde die gleiche Gunst erwerben wie die erste!

Dresden, im Mai 1884.

Dr. Gustav Leipoldt.

INHALT

des ersten Bandes.

Verzeichnis

der Figuren und Karten des ersten Bandes.

EINLEITUNG.

Wir geben mit den nötigen unwesentlichen Veränderungen diejenige Vorlesung **Peschels** wieder, mit welcher er seine Vorträge über physische Erdkunde einleitete. Man wird sofort erkennen, dafs es sich hierbei nicht blofs um eine Einleitung in die physische Erdkunde oder in die Erdkunde überhaupt handelt, sondern zugleich um Darlegung seiner Lehrmethode und einiger wichtiger allgemeiner Grundsätze, die ihn bei seinen Forschungen leiteten. Indem wir diese Einleitung publizieren, entsprechen wir zunächst dem Wunsche vieler seiner ehemaligen Hörer; doch dürfte sie auch für weitere Kreise von Interesse sein.

Die Erdkunde war ehemals wie die Zoologie und Botanik eine beschreibende Wissenschaft. In neuerer Zeit hat sie sich gleich den beiden anderen genannten Disciplinen insofern zu einer höheren Stufe erhoben, als sie sich nicht auf Beschreibung der Naturdinge beschränkt, sondern zugleich Entwicklungsgeschichte sein will. Die physische Erdkunde ist in gewissem Sinne eine Entwicklungsgeschichte unseres Planeten.

Die Erde bewegt sich in einem körper- und stofferfüllten Raum; daher lenken wir unsere Blicke zuerst hinaus in diesen Raum auf die Welten, welche derselbe umschliefst. Vom Stoff unzertrennlich ist die Kraft, welche sich äufsert in der Bewegung der Körper und sinnlich wahrnehmbar wird als Fluggeschwindigkeit, als Vibration des Äthers oder Licht, als Wärme, Elektricität, Magnetismus und chemische Anziehung. Geheimnisvoll erscheint uns insbesondere der Kreislauf der Kräfte im Organismus.

Die physische Erdkunde beschäftigt sich hauptsächlich mit denjenigen Kräften, welche an der Oberfläche und in den obersten Schichten der Erde ihre Thätigkeit entfalten; wir haben daher vielfach Fragen der dynamischen Geologie in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen. Das Verständnis der physischen Erdkunde setzt somit die Bekanntschaft mit den Elementen der Geologie und, da es sich hier meist um Kräfte handelt, welche die anorganische Natur beherrschen, auch mit denen der Physik und Chemie voraus. Zur Besprechung der Gestalt und Gröfse der Erde, sowie ihrer Stellung zu anderen Himmelskörpern sind Vorkenntnisse in der Astronomie erwünscht.

Von der Geologie unterscheidet sich die Erdkunde insbesondere dadurch, dafs sie unseren Planeten auch als Wohnort von Organismen ansieht, während die Geologie dieselben nur als Hilfsmittel zu geologischen Altersbestimmungen benützt. Der Wohnort organischer Wesen

aber richtet sich zum Teil nach deren Eigentümlichkeiten. Daher sind auch Vorkenntnisse in der Botanik und Zoologie zum Studium der physischen Geographie erforderlich.

Zu noch höheren Zielen strebt die Erdkunde empor, wenn sie die Erde nicht bloſs als Schauplatz geologischer oder meteorologischer Kräfte, als Verbreitungsgebiet von Pflanzen und Tieren, sondern auch als Wohnstätte des Menschen betrachtet. Hierzu ist wiederum notwendig die Kenntnis der wichtigsten anatomischen Ausdrücke für das Verständnis der Rassenmerkmale, ferner eine Art kosmopolitischer Philologie bei Besprechung der Sprachentwicklung und der Sprachtypen

Das letzte und höchste Problem der Erdkunde ist die Beantwortung der Frage: Wie haben die einzelnen Planetenräume auf den Entwicklungsgang der Völker und unseres ganzen Geschlechtes zurückgewirkt? Der Anblick der Erdgemälde soll uns dahin führen, in der Verteilung von Land und Wasser, von Ebenen und Höhen eine von Anfang an gegebene oder, wenn man will, beabsichtigte Wendung menschlicher Geschicke zu durchschauen [1]), soll uns erkennen lehren, daſs die Kultur- und Völkergeschichte durch örtlich herrschende Naturerscheinungen mitbedingt wird. Also sind auch Kenntnisse in der Kulturgeschichte und in der Geschichte überhaupt zum Studium der Erdkunde notwendig. Doch kommt in den nachfolgenden Betrachtungen, die ausschlieſslich der physischen Erdkunde gewidmet sind, die historisch-anthropologische Seite der Erdkunde in Wegfall.

Es wird unsere Aufgabe sein, die angedeuteten Vorkenntnisse im Gange der Untersuchung in möglichst faſslicher Weise zu ergänzen. Die Zeiten sind vergangen, wo man unklar zu sein sich bemühte, um geistreich zu erscheinen, wo die Gelehrten vornehm auf den Laien herabsahen und zur Wahrung ihrer eigenen priesterlichen Würde sich in das Dunkel einer technischen Sprache, einer Art Diebessprache zu hüllen liebten. Die Franzosen haben ein geflügeltes Wort, lautend: Ce qui n'est pas clair, n'est pas français. Ebenso sagen wir: Das Unverständliche ist unwissenschaftlich. Indem die Wissenschaft sich ihres früheren ausschlieſsenden Kastengeistes entkleidet, verliert sie zwar jenen trügerischen Heiligenschein, mit welchem sie sich vordem zu umgeben und oft sich Bewunderung zu verschaffen suchte, jedoch nur um an allgemeiner Anerkennung und Achtung desto mehr zu gewinnen [2]).

Die Anziehungskraft, welche die Erdkunde auf ihre Jünger aus-

[1]) O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgegeben von S. Ruge). München 1877. S. XVI f.

[2]) Vgl. Peschel im Ausland 1870, S. 254.

übt, beruht zunächst auf der Vielseitigkeit des geographischen Stoffes. In der That ist keine Wissenschaft weniger verlegen um Neuigkeiten, und mit dem Erlernen kommt man nie zu Ende. Aber sie bietet noch viel mehr. Wer Freude hat am Erkennen von Ursache und Wirkung, der begegnet hier nur fesselnden Gegenständen. Schon könnte man fast wähnen, es sei die Zeit der Faustseufzer über das Unzureichende menschlicher Erkenntnisse längst vorüber; denn in den letzten Jahrzehnten hat die Naturwissenschaft viele Probleme gelöst und ist der Erkenntnis dessen immer näher gekommen,

„was die Welt
Im Innersten zusammenhält“.

Indessen steht der Forschung noch ein weites Arbeitsfeld offen; noch sind wir nicht in alle Geheimnisse der Schöpfung eingedrungen; ja wir stehen vielleicht erst im Vorhof zum Sanctissimum. Wir müssen bekennen, dafs gerade darin die grofse Anziehungskraft der Forschung liegt: so oft das Geistesauge des Menschen weiter hinausschweift, findet es neue Horizonte und in diesen neue Rahmen von gröfseren, vollendeteren Gesamtbildern. Aber wie oft dies auch der Fall ist, so erreichen wir doch nie denjenigen Horizont, der das Ende, das letzte Ziel der Forschung zu bezeichnen vermöchte. Gerade dieses Vordringen nach neuen Horizonten verleiht der Gegenwart ihre Bedeutung und ihre besonderen Reize.

Auch die physische Erdkunde ist während der letzten Jahrzehnte in mannigfacher Hinsicht durch neue Erkenntnisse bereichert worden. So hat uns die Spectralanalyse, die zu einer Dienerin der Astrophysik geworden ist, die physische Beschaffenheit der Weltkörper und die Vorgänge auf ihrer Oberfläche erschlossen. Zahlreiche Gelehrte sind unablässig bemüht, die Gestalt der Erde aufs genaueste zu ermitteln, die thermischen und geologischen Verhältnisse der oberflächlichen Schichten des Erdkörpers zu erforschen, durch sinnreiche Instrumente die Tiefen der Meere zu ergründen und die Temperaturen derselben zu messen. Bereits wird die Erde von einem förmlichen Netz meteorologischer und magnetischer Stationen umspannt, und in ununterbrochener Folge erhalten wir von dorther schätzbare Beiträge zur Erkenntnis der Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse, sowie der magnetischen Kräfte der Erde. Ebenso ist die Verbreitung der Gewächse und Tiere ein von vielen Forschern mit besonderer Vorliebe und grofsem Eifer kultiviertes Gebiet. Überall begegnen wir neuen Thatsachen oder bereits festgestellten Thatsachen im Lichte neuer Erkenntnis; die älteren Theorien werden berichtigt, die früheren Lehren verschärft.

Die physikalische Erdkunde ist in unserer Zeit zu einem unerläfslichen Bildungsmittel geworden. Sie sollte nicht blofs von einzelnen

aus Beruf oder Neigung getrieben werden, sondern von jedem, der für die Natur einen Sinn und ein Herz hat, also eigentlich von jedem Gebildeten. Namentlich ist sie für den Historiker und den Publizisten eine unentbehrliche Hilfswissenschaft.

Die bedeutendste physische Erdkunde, welche jemals geschrieben wurde, ist A. v. Humboldts Kosmos. Derselbe erschien im Jahre 1845 in mehr als 30000 Exemplaren, obwohl kaum tausend Deutsche damals im stande waren, ihn fließend wie einen Roman zu lesen. Man ist in unseren Tagen dazu geneigt, den Wert des Kosmos zu unterschätzen, weil sich die Wissenschaft seitdem zu höheren Wahrheiten erhoben hat. Wir können uns mit dieser Auffassung nicht befreunden; denn ein Werk kann man nur gerecht beurteilen im Rahmen der Zeit, in welcher es erschien. Der Kosmos aber stand einstmals auf der Höhe der Zeit. Er enthält Tausende von Wahrheiten, von Thatsachen, von Messungen und von Werten, welche das Beste und Genaueste sind, was die damalige Wissenschaft zu bieten hatte; er ist eine imago mundi, ein Weltspiegel, wie er getreuer im Jahre 1845 nicht verfaßt werden konnte. Für die Geschichte der Wissenschaft bleibt er eine Art unvertilgbare Flutmarke, insofern darin die Summe der wichtigsten naturwissenschaftlichen Erkenntnisse sämtlicher modernen Kulturvölker bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts niedergelegt ist[1]).

Es darf ferner nicht verkannt werden, daß wohl kaum ein Buch mehr Anregung zu wissenschaftlichen Forschungen gegeben hat als der Kosmos. Es lag schon darin ein unendlicher Gewinn für ein Volk, daß es verstehen lernte, welch tiefer Sinn in dem Titelwort Kosmos liegt. Der Kosmos umfaßt die sinnlich wahrnehmbare Welt, das All. Wir reden von kosmischen Vorgängen im Gegensatz zu tellurischen und verstehen unter jenen solche Vorgänge, deren Schauplatz nicht auf diese Erde beschränkt ist, sondern auch andere Himmelskörper umfaßt. Allein das Wort Kosmos hat noch einen Geheimsinn, durch welchen es sich von den synonymen Ausdrücken Universum, Weltall unterscheidet. Kosmos bedeutet außerdem und recht eigentlich Schmuck, Ordnung, Harmonie. A. v. Humboldt wollte mit dem Titel Kosmos zugleich den Grundgedanken seines Werkes zum Ausdruck bringen, den Gedanken nämlich: das Weltall ist nicht willkürlich gestaltet und wird ebenso wenig launenhaft regiert, sondern es wird von unabänderlichen, unerbittlichen Gesetzen beherrscht. Das

[1]) O. Peschel in A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie (herausgeg. von K. Bruhns). Leipzig 1872. Bd. III. S. 228. — Ausland 1859, S. 491 f. — O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausgeg. von J. Löwenberg). Leipzig 1877. Bd. I. S. 361.

Wort Kosmos weist also auf eine gesetzmäfsige Verknüpfung aller Erscheinungen hin. Der Kosmos ist eine Welt der berechenbaren Kraftäufserungen; er ist das, was Leibniz eine vorbedachte Harmonie nennt. Alfons der Weise von Castilien hatte schon — ganz so wie einige neuere Philosophen — geäufsert, dafs manches in der Welt nicht musterhaft eingerichtet sei. Nun sprach derselbe zwar von der Welt, welche im Ptolemäischen System zur Darstellung gelangte; doch ist selbst die gegenwärtig besser gekannte menschlich gedacht nicht die angenehmste, bequemste, heiterste, von Ungemach freieste Welt, aber ohne Zweifel die möglichst beste.

Wir bezeichneten oben diese Welt als eine gesetzmäfsige, und doch zeigt dieselbe in ununterbrochener Folge ein Wunder, welches vielleicht niemals unserer Erkenntnis erschlossen wird. Dasselbe besteht darin, dafs ein Organismus, der ja im Grunde nichts anderes ist als eine physiologische Maschine, zum Denken gelangt und dafs der Gedanke wieder umgekehrt eine ihm entsprechende Bewegung des Organismus zu veranlassen vermag. Die Anatomen und Physiologen wollen diese Thatsache durch eine Molekularbewegung im Gehirn erklären. Allein die von ihnen angenommenen Moleküle und noch vielmehr deren Bewegungen gehören in das Reich der Hypothese. Und gesetzt selbst, wir wollten uns jenen Vorgang durch Annahme einer Molekularbewegung verständlich machen, so würde er schliefslich doch noch immer dasselbe Geheimnis für uns bleiben, welches er vorher war; denn wir vermögen uns schlechterdings nicht zu denken, wie durch Molekularbewegung auch nur ein einziger Gedanke sich entwickeln kann. Noch wunderbarer aber ist es, dafs Gedanken und Gefühle, nachdem man ihnen sinnliche Formen verliehen hat, eben durch diese Formen wieder hervorgerufen werden können. So wirkt das einstmals Gedachte oder Gefühlte, durch Meifsel, Pinsel oder Feder fixiert, sogar durch Jahrhunderte und Jahrtausende hindurch auf die Erkenntnis, das Gemüt und den Willen des Menschen. Können wir aber verstehen, wie der starre Marmor, die unbelebte Farbe, der tote Buchstabe im stande sind, Einflüsse auf das innerste Geistesleben des Menschen geltend zu machen?

In dem Kosmos, der ebenso sehr eine Welt strengster Gesetzmäfsigkeit ist wie eine Welt für uns unerfafsbarer Thatsachen, beobachten wir auch eine Reihe von Vorgängen, welche sich mehr als die anderen aller Berechnung entziehen: dies sind die Handlungen des relativ freien Menschen. Relativ frei ist der Mensch — was soll das heifsen? Jeder Mensch ist in verschiedene Lebenskreise hineingestellt; familiäre, nationale, religiöse Bande verknüpfen ihn mit anderen, und er empfängt innerhalb dieser Kreise mancherlei Anregungen, welche

seiner Entwicklung ganz bestimmte Züge aufprägen. Und da jene Kreise selbst gewissen Entwicklungsgesetzen unterworfen sind — wie denn so häufig die Staaten, Organismen gleich, alle Entwicklungsphasen vom Keime bis zum Tode durchlaufen — so ist der einzelne immer zugleich auch von dem jeweiligen Charakter derselben sehr beeinflufst; er ist — wie wir zu sagen pflegen — ein Kind seiner Zeit und als solches nur in gewissem Sinne frei.

Wie verträgt sich nun kosmische Ordnung und menschliche Freiheit?

Man hat die menschliche Freiheit wohl gar mit der eines Tieres verglichen, welches an der Kette liegt und nur innerhalb eines engen Kreises sich frei bewegen kann, oder mit derjenigen eines Passagiers auf einem transatlantischen Dampfer, dem es freisteht, eine schwarze oder weifse Krawatte anzulegen, dieses oder jenes zu speisen. Wir möchten die menschliche Freiheit durch ein anderes Bild darstellen. Von zwei Schachspielern, die am Brette sitzen, soll der eine das unerbittliche kosmische Gesetz vertreten, den stärksten sittlichen oder sinnlichen Reiz zu einer vorsätzlichen That, der andere dagegen die menschliche Freiheit. Jener Schachspieler beginnt und thut stets den denkbar richtigsten, dem Gegner verderblichsten Zug. Der Typus des Spieles (ob Evans-Gambit oder Giuco Piano oder spanische Partie) ist nach den Eröffnungszügen bekannt; aber der Verlauf, der Gang des Spieles hängt vom zweiten Spieler ab. Ob er es früher oder später, kläglich oder glänzend beendet, ist Sache seines Spiels, seiner Kunstfertigkeit, seiner Freiheit. Auch der Mensch hat einen Kampf zu führen mit zahlreichen feindlichen Mächten, die ihn umgeben. Hier gilt es, die sittliche Kraft zu stählen, die Würde zu bewahren und das Feld in jedem Falle zu behaupten. Am Schachbrette wird uns dies um so leichter gelingen, je besser wir den Gegner und sein Gegenspiel kennen; denn in diesem Falle sehen wir etwaige Missgriffe, noch ehe sie gethan sind, und können sie daher leicht vermeiden. Etwas Ähnliches erstrebt die Wissenschaft; sie sucht die Gesetzmäfsigkeit der Vorgänge zu durchschauen, um dieselben vorausberechnen zu können. Im Besitze solcher Kenntnisse aber vermag der Mensch viel leichter Gefahren abzulenken und Handlungen mit Erfolg auszuführen als ohne dieselben. Es ist darum eine überaus wichtige Aufgabe der Wissenschaft, die Gesetze zu ergründen, welche die anorganische wie die organische Welt, die Natur wie das Völkerleben und das Leben des einzelnen beherrschen.

Derartige Gesetze nachzuweisen, ist der Hauptzweck dieses Werkes. Wir beschränken uns hierbei, dem Titel des Buches entsprechend, im wesentlichen auf diejenigen Vorgänge, deren Schau-

plätze unsere Erde, ihre obersten, erstarrten Schichten, das Meer und der Luftkreis sind.

Der erste Teil behandelt vorzugsweise die Beziehungen der Erde zum Kosmos. Wir werden uns hier zunächst die Fragen vorlegen: Ist die Körperwelt räumlich und zeitlich begrenzt, d. h. ist der ganze unendliche Raum mit Himmelskörpern erfüllt und wird die Welt ewig bestehen? Oder sind in beiden Beziehungen Grenzen gesetzt? Dann haben wir uns mit den Ergebnissen der neueren Astrophysik zu beschäftigen, welche — insbesondere mit Hilfe der Spectralanalyse — zu ungeahnten Enthüllungen geführt hat. Wir verlassen hier scheinbar unsere eigentliche Aufgabe, und man könnte den Einwand erheben: Warum werden Stoffe, die der Astronomie angehören, in den Kreis dieser Abhandlungen über physische Erdkunde gezogen? Unsere Antwort hierauf lautet: Weil erst durch einen Vergleich der Erde mit anderen Himmelskörpern gefunden werden kann, was dieselbe ist und was sie nicht ist. Von besonderem Interesse ist es zu wissen, ob die Stellung der Erde im Sonnensystem für die Entwicklung organischen Lebens eine vergleichsweise günstige ist oder nicht.

Auf den kosmologischen Teil folgt als zweiter ein geologischer. Wir betrachten in demselben die Gestalt und Gröfse der Erde, ihre Eigenwärme, die vulkanischen Kräfte, die Erdbeben, die Zustände des Erdinnern und werden so vorbereitet auf eine Besprechung der Kant-Laplaceschen Hypothese.

Hierauf durchschreiten wir die geologischen Zeitalter und versuchen den Bau, sowie die Entstehung der Gebirge zu erklären. Von der Plastik der Festlande wenden wir uns zur Morphologie ihrer horizontalen Umrisse. Dieser Teil der Erdkunde ist von besonderer Wichtigkeit. Die Landkarten gewähren das trügerische Bild der Ruhe und des Erstarrten, des Beharrlichen und Unabänderlichen, während doch in Wahrheit die vertikale und horizontale Gliederung der Erdteile unausgesetzt dem Wechsel unterworfen ist. Die Landkarten, die vorher nichts als trockene Abbilder für uns waren, bekommen nun den Reiz historischer Gemälde. Wir werden dann bei einem Blick auf die Nordküste von Frankreich nicht blofs Buchten und Inseln wahrnehmen, sondern zugleich die aufserordentlichen Verheerungen der Küste durch Meeresfluten. Die Zusammenscharung gröfserer Inseln in der Nähe des Festlandes wird uns über Senkungserscheinungen belehren. Andere Inseln werden wir aus Lage und Gestalt sofort als vulkanische oder madreporische erkennen u. s. w.

Der (dritte) meteorologische Teil beginnt mit der Betrachtung der Weltmeere, welche durch Ebbe und Flut rhythmisch gehoben, verschieden erwärmt und durch Meeresströmungen in beständiger

Bewegung erhalten werden. Von den Oceanen wenden wir uns zu dem Luftmeer und besprechen seine etagenweise abnehmende Dichtigkeit, seinen Druck und die Möglichkeit, aus demselben mit Hilfe des Barometers die Höhe zu messen, seine Erwärmung durch die Sonnenstrahlen, die durch Temperaturdifferenzen erzeugten Strömungen oder Winde, den Wasserdampfgehalt der Luft und die Regenverteilung, die Entstehung und verschiedenartige Beschaffenheit der Quellen, die Bildung der Seen, die Gletscher, die Entwicklung der Flüsse und Ströme, deren physische Aufgaben und Leistungen und den Bau der Thäler.

Einen Anhang zu dem meteorologischen Teil bildet der Abschnitt über die magnetischen Kräfte unseres Planeten. Wir verkennen die Wichtigkeit derselben keineswegs; doch wurden sie früher, insbesondere zu A. v. Humboldts Zeiten, bedeutend überschätzt. Sie mufsten Erscheinungen erklären, die durchaus nicht in irgend einer Beziehung zum Erdmagnetismus stehen; sprach doch der englische Geolog Sir Roderick Murchison sogar die Vermutung aus, dafs der auffallende Reichtum der Meridiangebirge an Gold in Beziehung stehe zu den magnetischen Strömen, welche die Erde umkreisen!

Der vierte Teil ist der Betrachtung des organischen Lebens auf Erden gewidmet. Es ist hier zuerst zu erörtern, inwiefern das Auftreten und die Verbreitung der Gewächse an gewisse klimatische Voraussetzungen gebunden ist. Da die Bekleidung des Bodens mit organischen Formen jedem gröfseren Erdraum einen besonderen landschaftlichen Charakter verleiht, so schliefsen wir hieran eine Untersuchung ästhetischer Art über die Physiognomik der Pflanzen. Ist die Verbreitung der Gewächse an klimatische Bedingungen geknüpft, so gilt dies mehr oder weniger auch von den Tieren; zugleich sind diese aber auch von dem Pflanzenleben mittelbar oder unmittelbar abhängig. Auch dieses ist nachzuweisen, und endlich ist zu zeigen, welche charakteristischen Tiere den einzelnen Erdräumen zukommen. Die Verbreitung der Pflanzen und Tiere aber läfst uns vieles ahnen über die Schicksale, welche gewisse Festländer, gewisse Inselgruppen und Inseln getroffen haben.

Der Mensch bleibt hier ausgeschlossen, obwohl er einer ähnlichen Betrachtungsweise unterliegt, einfach deswegen, weil dieser Stoff in die Völkerkunde gehört.

Es handelt sich in dem Folgenden nicht blofs um Mitteilung der Ergebnisse älterer und neuerer Forschung, sondern vor allem auch darum, dem Geiste Anregung zu geben zu neuem Nachdenken über die Gröfse und Erhabenheit des Weltgebäudes und dem Verstande eine gröfsere Sicherheit und männliche Entschiedenheit im Urteilen und Schliefsen zu verleihen. Der Nachweis von Gesetzen, welche das

Weltall beherrschen, ist in hohem Grade hierzu geeignet. Wir haben es hier ja nicht mit bloſsen Aussprüchen von diesem oder jenem Gewährsmann zu thun, dem wir unbedingt glauben müssen, sondern mit Regeln, welche sich streng vollziehen, aber von uns erst aufgesucht und durch Thatsachen erhärtet werden müssen. Immer entscheidet hierbei die Wucht des Beweises, niemals die Autorität dieses oder jenes Gewährsmannes. Sind gewisse Gesetze noch nicht streng erwiesen, sondern ist ihre Geltung nur durch eine Menge Indicien sehr wahrscheinlich gemacht, so sind dieselben Theorien, die unter kritischen Vorbehalten anzunehmen sind, oder es sind Hypothesen, mit denen es jeder halten kann, wie er will. Nur gilt hier die Regel, daſs eine Hypothese nie als Beweismittel gelten darf zur Stützung einer Theorie und daſs es durchaus unstatthaft ist, auf eine Hypothese eine andere Hypothese aufzubauen.

Von diesen Grundsätzen haben wir uns beim Entwurf des vorliegenden Werkes leiten lassen.

ERSTER TEIL.

DAS WELTALL.

I. Die räumliche Begrenzung der Körperwelt.

Die physische Erdkunde beschäftigt sich mit der Natur unseres Planeten und den Kräften, welche auf ihm ihr Spiel treiben. Viele der Kraftäufserungen, die auf ihm wahrgenommen werden, kommen von aufsen. Es ist deshalb wichtig, die Welt kennen zu lernen, in welcher er sich bewegt; auf sie lenken wir daher zuerst unsere Blicke.

Die Erde ist ein Glied des Sonnensystems und dieses wieder ein Teil der grofsen, sinnlich wahrnehmbaren Körperwelt, welche am gestirnten Nachthimmel uns entgegen leuchtet. Es erhebt sich nun die Frage: Ist diese Körperwelt räumlich begrenzt oder ist sie wieder nur ein kleines Gebiet eines von unendlich vielen Welten erfüllten Universums?

Die Ansichten darüber haben von jeher geschwankt. Am niedrigsten erschien das Himmelsgewölbe den Forschern des Altertums, als der geographische Gesichtskreis des Menschen nur wenig über die engen Grenzen der Heimat hinausreichte. Zu Homers Zeit schlofs die von dem Flusse Okeanos begrenzte Erdscheibe im Westen mit Sicilien, im Osten mit Syrien ab. Demgemäfs war auch die Himmelskuppel, die sich über den Erdkreis ausspannte, flach und niedrig. Ist es gestattet, die Höhe derselben nach dem Falle eines Körpers zu bemessen, so sei an ein Wort des Hephästos in der Ilias (I, 590—593) erinnert. Derselbe erzählt, dafs ihn Zeus einst bei der Ferse gefafst und aus dem Olymp geschleudert habe, und fügt dem die Worte hinzu:

„Ganz den Tag durchflog ich, und spät mit der sinkenden Sonne
Fiel ich in Lemnos hinab und atmete kaum noch Leben."

Der Fall dauerte demnach weniger als 24 Stunden.

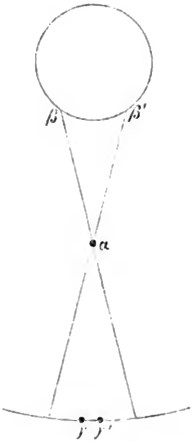
Bei Hesiod ist der geographische Horizont schon doppelt so weit als bei Homer; denn er reicht etwa von den Säulen des Hercules bis nach dem Phasis am Ostende des Schwarzen Meeres. Dem entsprechend wächst auch die Höhe des Himmels, und so erfahren wir aus Hesiods Theogonie (Str. 720), dafs ein vom Olymp herabgestürzter

Ambofs erst in 9 Tagen vom Himmel zur Erde und durch diese hindurchschlagend in den Tartaros gelangt.

Als dann später (seit Pythagoras, besonders aber durch Aristoteles) die Erde in den Vorstellungen der Menschen ihre Scheibengestalt mit der Kugelform vertauscht hatte und die Grenzen der bekannten Welt in Indien und im äquatorialen Afrika lagen, da wölbte sich auch der Himmel vor dem Auge des Menschen immer höher und höher [1]).

Immerhin hatte man auch damals von der Gröfse des Weltalls kaum eine Ahnung, und wie konnte es auch anders sein zu einer Zeit, in welcher die Ansicht herrschend war, dafs der gesamte Fixsternenhimmel und die Planeten die ruhende Erde umkreisten! Daher begreifen wir Aristoteles' Forderung, dafs man eine optische Verschiebung der Gestirne wahrnehmen müsse, wenn die Erde eine Rotation um ihre Achse besäfse. So müfste nach aristotelischen Vorstellungen, falls sich die Erde wirklich um ihre Achse drehen würde, ein Beobachter bei β (Fig. 1) die Fixsterngruppe $\gamma\gamma'$ rechts von dem Planeten α sehen, fünf Stunden später aber von β' aus links desselben. Auf diese optische Verschiebung mufste man gefafst sein, wenn man die Erde für aufserordentlich grofs, den Fixsternenhimmel aber im Vergleich zur Gröfse der Erde für sehr nahe hielt. Die Welt des Aristoteles war so eng, dafs man von ihr sagen durfte, wie von einer niedrigen Stube, es lasse sich ihre Decke mit der Hand erreichen.

Fig. 1.



Die aus der Erdrotation abzuleitende optische Verschiebung der Gestirne (nach aristotelischen Vorstellungen).

Zu völlig entgegen gesetzten Anschauungen gelangte man, als Copernicus (1473—1543) mit seinem Weltsystem auftrat. Wenn die Erde sich wirklich um die Sonne bewegt, also ihre Stellung im Weltraum um Millionen von Meilen verändert, so durfte man noch viel mehr erwarten, dafs die Fixsterne eine von der Ortsveränderung der Erde herrührende scheinbare Bewegung zeigten.

[1]) Vgl. hierzu den lehrreichen Aufsatz S. Ruges: „Über die historische Erweiterung des Horizonts" im Globus, Bd. XXXVI (1879). Nr. 4, S. 61—63; Nr. 5, S. 72—74; Nr. 6, S. 87—89.

In Figur 2 sei *s* ein Fixstern, *abcd* die Erdbahn. Befindet sich die Erde in *a*, so sehen wir den Stern in *a'* an das Himmelsgewölbe projiziert; hat sie sich nach *b*, *c* oder *d* bewegt, so ist auch der Punkt, auf welchen er projiziert erscheint, nach *b'*, *c'* oder *d'* weiter gerückt. Somit mufs jeder Fixstern alljährlich eine kleine elliptische Bahn am Himmelsgewölbe beschreiben, welche genau der Erdbahn gleich ist, wie sie von dem betreffenden Fixstern aus beobachtet werden könnte. Diese entfernt sich um so mehr von der Kreisform, je kleiner der Winkel ist, welchen eine von dem Fixstern zur Sonne gezogene Linie mit der Ebene der Erdbahn macht. Die kleine Achse jener Ellipse schwankt also bezüglich ihrer Länge; die grofse Achse hingegen ist bei gleicher Entfernung des Fixsternes immer dieselbe.

Fig. 2.



Parallaktische Bewegung eines Fixsternes.

Die grofse Achse der besprochenen Ellipse bezeichnet man als die jährliche Parallaxe (d. i. Abweichung) des Fixsternes. Man fand es aber einfacher, darunter diejenige Verschiebung zu verstehen, welche hervorgebracht würde, wenn ein Beobachter seinen Standpunkt auf Erden plötzlich mit einem solchen auf der Sonne vertauschen würde. Diese Verschiebung entspricht offenbar nur der halben grofsen Achse jener Ellipse.

Die Gröfse der Parallaxe hängt natürlich von der Entfernung der Gestirne ab; sie wird immer kleiner, je weiter dieselben von dem Sonnensystem abstehen. Betrüge die jährliche Parallaxe eines Fixsternes

1°,	so wäre seine Entfernung	=	57,296 Halbmessern der Erdbahn
1',	" " " "	=	3437,75 " " "
1'',	" " " "	=	206264,8 " " "

Doch wurde weder zur Zeit des Copernicus, noch in den beiden folgenden Jahrhunderten irgend welche Spur einer parallaktischen Bewegung der Fixsterne wahrgenommen, und man benützte diesen Umstand als einen Einwand gegen die Wahrheit des Copernicanischen Systems. Die Anhänger desselben konnten hierauf nur erwidern, dafs jedenfalls die Bahn der Erde um die Sonne verschwindend klein sei gegen die Entfernungen der Fixsterne von unserem Sonnensystem und dafs die Instrumente ungenügend seien zur Messung einer infolge dessen

äufserst geringfügigen Parallaxe. Somit wurde die Sternenwelt in ungeheure Fernen hinaus gerückt.

Zur Zeit Tycho de Brahes (1546—1601) waren die astronomischen Instrumente und Beobachtungsmethoden so weit vervollkommnet, dafs die Stellung eines Fixsternes bis auf eine Bogenminute genau angegeben werden konnte; ja zur Zeit Bradleys (1692—1762) vermochte man sogar den möglichen Fehler bis auf eine Bogensekunde zu verringern, und dennoch konnte damals kein Astronom die Parallaxe eines Fixsternes nachweisen. Erst als die Ortsbestimmungen der Sterne bis auf Zehnteile einer Sekunde genau waren, wurde durch Bessel in Königsberg [1]) (1838) an dem Doppelstern 61 Cygni [2]) und fast gleichzeitig auch durch W. Struve in Dorpat an α Lyrae (Wega) eine Parallaxe mit Sicherheit erkannt.

Die Messungen, die in den Jahren 1837 bis 1840, anfangs von Bessel selbst, dann von seinem Assistenten Schlüter in der Gesamtzahl von 402 ausgeführt wurden, ergaben für 61 Cygni eine Parallaxe von 0,37 Sekunde; doch hat später Auwers auf Grund seiner eigenen und O. Struves Messungen diesen Wert auf 0,553 Sekunde erhöht. Wie gering diese scheinbare Bewegung ist und welch mächtiger Teleskope man bedurfte, sie zu erkennen, wird uns am besten klar werden, wenn wir hinzufügen, dafs sie nur etwa so grofs ist wie $^1/_{1700}$ des Halbmessers der Mondscheibe. Aus der Gröfse der Parallaxe geht hervor, dafs 61 Cygni 373000mal so weit von uns entfernt ist als die Erde von der Sonne; sein Abstand von der Erde beträgt also gegen 7,5 Billionen geographische Meilen: eine dem menschlichen Geiste unfafsbare Gröfse! Wenn wir sie in eine Karte eintrügen, in welcher die Bahn unserer Erde die Randgröfse eines Pfennigstückes von 1,77 Centimeter Durchmesser hätte, so würde unter Beibehaltung derselben Mafse 61 Cygni beinahe eine Wegstunde (3,32 Kilometer) von ihr entfernt aufgezeichnet werden müssen. Da das Licht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, 8 Minuten 18 Sekunden braucht, somit in einem irdischen Jahre einen Raum von fast 1,3 Billionen geographischen Meilen (= ein „Lichtjahr") durchläuft, so bedarf dasselbe nicht weniger als 5,9 Jahre, um den Weg von 61 Cygni zur Erde zurückzulegen.

[1]) Astronomische Nachrichten. Bd. XVI (1838), Nr. 365.

[2]) Da die Zahl der Sterne viel zu grofs ist, als dafs man jedem einen eigenen Namen beilegen könnte, ohne dafs alle Übersichtlichkeit verloren ginge, so haben die Astronomen die einzelnen Sterne jedes Sternbildes mit griechischen oder lateinischen Buchstaben bezeichnet und zwar so, dafs man den hellsten Stern des Sternbildes α, den folgenden β etc. nannte. Später mufste man jedoch auch zu den Zahlen seine Zuflucht nehmen.

Am gröfsten ist die Parallaxe nach den bisherigen Beobachtungen bei dem hellsten Stern im Centauren (α Centauri) auf der südlichen Halbkugel des Himmels (in Europa unsichtbar); doch erreicht sie auch bei diesem noch nicht die Gröfse einer Sekunde (0,928" oder $^1/_{1000}$ der halben Mondscheibenbreite). Er ist also wahrscheinlich unter allen Fixsternen der Erde am nächsten; doch beträgt sein Abstand von derselben immerhin noch 4,4 Billionen geographische Meilen, d. i. 222 000 Sonnenweiten oder 3,5 Lichtjahre.

Man hat bereits für eine gröfsere Anzahl von Sternen die Parallaxen bestimmt; in der folgenden Tabelle sind diejenigen einiger bekannten Gestirne verzeichnet.

Fixsterne	Gröfse	Parallaxe in Sekunden	Entfernung in Sonnenweiten	Entfernung in Lichtjahren	Autor
α Centauri	1 u. 4	0,928	222 000	3,5	Moesta[1]
61 Cygni	5½ u. 6	0,553	373 000	5,9	Auwers u. O. Struve (Mittelwert)
Capella	1	0,305	676 000	10,7	O. Struve
Sirius	1	0,193	1 069 000	16,9	Gyldén
α Lyrae (Wega).	1	0,180	1 146 000	18,0	Brünnow
Procyon	1	0,123	1 677 000	26,5	Auwers
Polarstern	2	0.091	2 267 000	35,7	Peters

Die meisten der Sterne zeigen bis jetzt noch keine parallaktische Bewegung; die Gröfse ihrer Entfernung läfst sich somit nicht messen. Ob nun die Körperwelt über den unendlichen Raum ausgestreut ist oder ob wir sie als räumlich begrenzt anzusehen haben, das werden uns die folgenden Untersuchungen lehren.

Die Fixsterne vereinigen sich teils zu Gruppen, teils bilden sie dichte Zusammenscharungen. Die auffallendste unter den letzteren ist die Milchstrafse. Sie besteht aus einem zahllosen Heer von Sternen. Sir William Herschel schätzte die Menge der durch sein 40füfsiges Spiegelteleskop sichtbaren Sterne in der Milchstrafse auf 18 Millionen[2]). Um die Gröfse dieser Zahl mit etwas Analogem zu vergleichen, erinnert A. v. Humboldt daran, dafs am ganzen Himmel nur etwa 8000 Sterne erster bis sechster Gröfse mit blofsem Auge gesehen werden[3]). Viele Sterne der Milchstrafse senden uns ein so

[1]) Eigentlich Hendersons Wert, der von Peters korrigiert und mit dessen Werte von Moesta zu einem Mittel vereinigt wurde.

[2]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 156.

[3]) l. c. Bd. I, S. 156. Richard A. Proctor (Other Worlds than Ours.

schwaches Licht zu, dafs sie selbst in ihrer Gesamtheit nur einen milden Lichtschimmer verbreiten.

Lange Zeit war Sir William Herschels Anschauung über die Milchstrafse allgemein anerkannt[1]). Er ging von der Voraussetzung aus, dafs die meisten Sterne gleich grofs seien und, gleichweit von einander abstehend, den Raum einer plattgedrückten Linse einnehmen. Die äufsersten Sterne sind nach Herschel etwa 80 mal so weit von uns entfernt als im Durchschnitt die Sterne erster Gröfse. In der Mitte dieser Weltinsel befindet sich unser Sonnensystem. Wenn wir nun nach den Rändern der Linse sehen, so dringt unser Auge durch viel mächtigere Schichten, als wenn wir in der Richtung der Achse hinausblicken; daher beobachten wir im ersten Falle einen breiten, ringförmigen Lichtgürtel, die Milchstrafse, im zweiten hingegen nur einzelne Sterne. Die Äste, welche die Milchstrafse aussendet, wurden nach dieser Hypothese durch die Annahme erklärt, dafs die Linse selbst nicht unverletzt oder geschlossen sei, sondern dafs an gewissen Stellen ihre Ränder aufklaffen.

Wenn ein mächtiges Fernrohr auf die Milchstrafse gerichtet wird, so löst sich meistens der Lichtschimmer in dichtgedrängte Sternenschwärme auf[2]). Der scheinbare Lichtnebel entsteht also in diesen Fällen durch das Zusammenrücken schwer zählbarer und unendlich kleiner Lichtpunkte. Aufserdem aber entdeckt man mit Hilfe des Fernrohrs sowohl innerhalb als auch aufserhalb der Milchstrafse am gestirnten Himmel eine Unzahl bald kleinere, bald gröfsere erhellte Stellen, die sogenannten Nebelflecke.

Die Zahl der örtlich in Rectascension und Deklination bestimmten überstieg schon im Jahre 1850 3600. Nach Sir William Herschels älterer Schätzung (1811) bedecken die Nebelflecke wenigstens $^1/_{270}$ des ganzen sichtbaren Firmaments[3]). Sir John Herschel, der den letzten und vollständigsten Katalog der Nebelflecke im Jahre 1864

4th ed. London 1878. p. 249) verringert die Zahl der mit unbewaffnetem Auge sichtbaren Sterne sogar auf 5850, J. C. Houzeau (Uranométrie générale in den Annales de l'obs. royale de Bruxelles. Nouv. série. Tome I. 1878), bis zu 6,5 Gröfse herabgehend, auf 5716.

[1]) Sir William Herschels Arbeiten über den Bau des Himmels finden sich in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. LXXIV (1784), p. 437—451. Vol. LXXV (1785), p. 213—266. Vol. LXXIX (1789), p. 212—255. Vol. XCII (1802), p. 477—528. Vol. CI (1811), p. 269—332. Vol. CVII (1817), p. 302—331.

[2]) Zu dem Folgenden wurde mehrfach benützt: Peschels Bericht über Richard A. Proctor, Other Worlds than Ours im Ausland 1870, S. 769—776.

[3]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 312.

veröffentlicht hat, zählt nicht weniger als 5079 Nebel- und Sternenhaufen auf[1]), und noch immer erhält die Riesenschar derselben in jedem Jahre einen beträchtlichen Zuwachs. Gegenwärtig dürften wir am ganzen Himmel c. 6000 Objekte dieser Art kennen, wovon aber nur 15—20 mit blofsem Auge bei uns erkannt werden.

Die Nebelflecke sind teils scharf begrenzte, teils regellos zerfliefsende. Die scharf begrenzten erscheinen bisweilen ringförmig, bisweilen als Scheibe, bisweilen als Linse, bisweilen spiralförmig gekrümmt.

Als die Fernrohre mehr und mehr vervollkommnet wurden, zerlegten sie das Licht vieler Nebelflecke in Sternenhaufen. Dies gelang nach und nach auch bei solchen, die anfangs für unauflöslich gehalten worden waren, z. B. bei ν Andromedae. Der Amerikaner Bond zu Cambridge (Ver. St.) erkannte innerhalb der Grenzen dieses Nebels 1500 kleine Sterne; der Kern blieb freilich unaufgelöst[2]). Bevor eine derartige Zerlegung irgend eines Fleckes eintrat, bemerkte man schon vorher mit schwächeren Instrumenten, dafs der Nebelfleck nicht mehr einen gleichförmigen Lichtdunst zeigte, sondern in hellere und dunklere Stellen sich zu trennen begann. Man sprach daher in dem ersten Falle von aufgelösten, in dem zweiten von auflösbaren Nebelflecken. Aufserdem aber sah man Nebelflecke, die kein Wahrzeichen der Auflösung erblicken liefsen und auch hartnäckig derselben widerstanden, deren Licht bald scharf, bald undeutlich begrenzt war und in letzterem Falle langsam zerflofs, die nirgends einen regelmäfsigen Bau, sondern vielmehr die wunderlichsten Gestalten besafsen. Diese nannte man unlösbare Nebelflecke. Je tiefer nun das teleskopische Sehen in den Raum hineindrang, desto mehr unlösbare Nebelflecke wurden lösbar, desto mehr lösbare wirklich aufgelöst. Als das mächtige Teleskop von Lord Rosse auf die Nebelflecke am Himmel gerichtet wurde, zerfiel wiederum eine beträchtliche Menge in Sternenscharen, und im Jahre 1849 konnte Sir John Herschel in seinen „Outlines of Astronomy" verkündigen, „dafs in der Wirklichkeit kein Unterschied zwischen Nebeln und Sternenhaufen vorhanden sei"[3]). Mit der Zahl neuer Auflösungen stieg aber auch die Zahl der vorher nicht gesehenen

[1]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLIV (1864), p. 1—137.

[2]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 316.

[3]) „It may very reasonably be doubted whether there be really any essential physical distinction between nebulae and clusters of stars" (p. 598). Auch in der neuesten Auflage der „Outlines" (London 1875, p. 640) begegnen wir leider noch diesem Satz.

unauflösbaren Nebelflecke in noch viel höherem Grade, wie etwa an Stelle jedes abgeschlagenen Hauptes der Hydra zwei neue hervorzischten.

Die Milchstraſse mit unserem Sonnensystem, sagte man sich, bildet einen ungeheuren Sternenhaufen von etwa linsenförmigem Bau, der uns Erdenbewohnern, die wir etwa in der Mitte desselben schweben, als ein Lichtgürtel entgegentritt, weil wir in der Centralebene der Linse Stern hinter Stern in endloser Folge sehen. Würden wir dagegen das Milchstraſsengebäude aus unendlicher Ferne betrachten dürfen, so müſste es uns als ein scheibenförmiger Nebelfleck oder bei verändertem Gesichtspunkt als ein Oval und bei noch stärkerer Veränderung als der Querschnitt einer konvex-konvexen Sternenlinse erscheinen. Folglich, schloſs man weiter, sind die lösbaren und aufgelösten Nebelflecke Milchstraſsensysteme von teleskopischer Nähe, die unauflösbaren aber solche von unfaſslicher Ferne.

Da nun Nebelflecke gewisse Himmelsräume bevorzugen, — es findet sich beispielsweise eine sehr groſse Anhäufung an dem nördlichen Pole der Milchstraſse, auch eine ansehnliche Fülle bei den Fischen am südlichen Pole — so nahm man eine noch unendlich weiter entfernte Milchstraſse der Nebelflecke oder eine Milchstraſse von Milchstraſsensystemen an, welche unsere eigene Milchstraſse ungefähr rechtwinklig schneiden sollte. Immer noch vermehrte sich die Zahl der Nebelflecke mit der Schärfe des Fernrohrs; immer noch dämmerten aus der Tiefe des Weltalls neue herauf, und so gelangte man zur Vorstellung einer unbegrenzten Erfüllung des Weltraums.

In neuerer Zeit haben sich jedoch andere Ansichten Bahn gebrochen, Ansichten, welche die Unendlichkeit der Körperwelt in Abrede stellen und dieser wieder gewisse Ufer zuerkennen.

Gestehen wir selbst zu, daſs die Grundlagen des Herschelschen Milchstraſsensystems — annähernd gleiche Gröſse der Sterne und gleichmäſsige Verteilung in einem linsenförmigen Raum — richtig sind, so läſst sich doch Verschiedenes mit dieser Erklärung schwer vereinbaren.

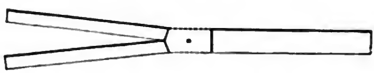
Zunächst giebt es in der Milchstraſse mehrere runde oder ovale Stellen, die scheinbar ganz sternenleer sind, also dunkle Flecken in dem hellen Lichtschimmer bilden, z. B. die von britischen Matrosen als „Kohlensäcke“ bezeichneten beim südlichen Kreuz oder der ovale Fleck im Sternbilde des Schwanes. Diese dunklen Öffnungen, auf deren Grund, obgleich sie in gestirnreichen Strecken der Milchstraſse liegen, nach Sir William Herschels eigenem Ausspruch auch nicht ein teleskopischer Stern zu sehen ist, wären als tunnelartige oder röhrenförmige Durchbrüche zu betrachten. Ein solcher, auf so ungeheure Strecken geradliniger Durchbruch trägt jedoch zu viel Selt-

sames, ja Rätselhaftes an sich, als dafs wir ihn für möglich halten könnten. Statt dessen wird wohl ein jeder aus dem Vorkommen solcher Öffnungen schliefsen, dafs in ihrer Nähe die seitliche Ausdehnung der Milchstrafse ihren Tiefendurchmesser nicht überschreiten werde [1]).

Ferner könnte man fragen: Wenn wir uns mitten in der Linse befinden, wie kommt es, dafs die Scharen von Sternen sich nicht ganz allmählich gegen die Ränder derselben verdichten, dafs die Milchstrafse im Gegenteil überall mehr oder weniger scharfe Grenzen zeigt? Schon Sir John Herschel (der Sohn) bemerkte, dafs an vielen Stellen die Milchstrafsenschwärme so plötzlich enden, dafs die eine Hälfte des teleskopischen Gesichtsfeldes milchschimmernd, die andere dagegen bis auf einige verirrte Lichtpunkte ganz leer sein könnte. Ist nicht in allen solchen Fällen klar erwiesen, dafs der Abstand des Sternenschwarms vom Beschauer unendlich viel gröfser sein mufs als die Abstände der einzelnen Sterne unter einander? — oder mit anderen Worten, dafs die Sterne der Milchstrafse in der Ebene eines Erdenbeschauers durchaus nicht in gleichmäfsigen Abständen bis in unendliche Fernen ausgestreut liegen, sondern vielmehr innerhalb mäfsiger Entfernungen eng zusammenrücken?

Sir William Herschel selbst hat in seinen letzten Arbeiten über die linsenförmige Anordnung der Sterne Zweifel geäufsert und sich für die Annahme eines Ringes von Sternen entschieden, eine Anschauung, die von seinem Sohne Sir John Herschel weiter ausgebildet wurde. Dieser hielt die Milchstrafse für einen flachen Ring, von welchem die helleren Sterne (bis zu denen zehnter Gröfse herab) getrennt seien, glaubte aber, dafs die äufsersten Scharen der Milchstrafse nicht 80-, sondern 750mal so weit von uns ablägen als im Durchschnitt die Sterne erster Gröfse. Da die Milchstrafse sich auf einer grofsen Strecke in zwei Arme teilt, so dachte er sich den Querschnitt des ringförmigen Sternenschwarmes auseinander klaffend wie in Fig. 3. Versetzen wir uns aber vom Mittelpunkt des Milchstrafsensystems nach oben (wenn hier von

Fig. 3.

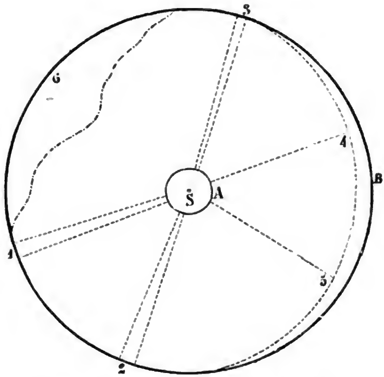


Die Milchstrafse als ein gespaltener flacher Ring gedacht (Querschnitt). Der Punkt in der Mitte bezeichnet die Stellung des Sonnensystems.

[1]) Richard A. Proctor, Other Worlds than Ours. 4th ed. London 1878. p. 247.

oben oder unten überhaupt die Rede sein kann), so würde es uns einen Anblick gewähren, wie ihn Fig. 4 darzustellen versucht.

Fig. 4.



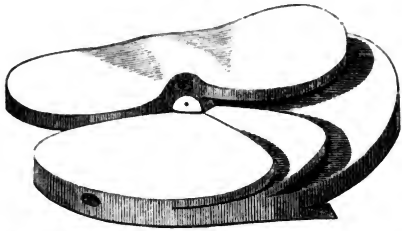
Der gespaltene galaktische Ring von „oben“ gesehen. *SA* soll die mittlere Entfernung der Sterne erster Gröfse andeuten. Sie beträgt hier 1/8 von *SB*, ist also (des beschränkten Raumes wegen) übertrieben grofs dargestellt worden.

Unser Sonnensystem nimmt in diesem Schema den Punkt *S* ein. Sehen wir von *S* in der Richtung nach *1*, so bemerken wir im Sternbild der Argo einen Riss oder eine Lücke, welche auf unserer Skizze durch punktierte Linien bezeichnet ist. Ferner entdecken wir in der Richtung nach *2* eine birnenförmige, am Rande scharf begrenzte Lücke beim südlichen Kreuz, so dafs der Ring dort ein Öhr besitzen müfste, wie es die punktierten Linien andeuten. Eine ähnliche Durchbohrung wird sichtbar in der Richtung nach *3* oder im Sternbild des Schwanes. Zwischen *3 B 2* tritt die Verdoppelung des Ringes ein; doch ist eine grofse Strecke des einen Armes so lückenreich, dafs man sich den oberen Teil des Doppelringes zwischen den Linien *S 4* und *S 5* abgetragen denken mufs. Zwischen dem sogenannten doppelten Strom aber finden sich örtlich seltsame Lichtwindungen und Abzweigungen, die sich jeder Beschreibung entziehen, so dafs auf der Strecke *3 B 2* die Sternenschwärme stark gerunzelt erscheinen und zugleich flache wie verbogene Sternschichten seitlich aussenden müfsten, die von *S* aus tangential gesehen werden. Endlich ist die einfache Strecke bei *6* so dünn, dafs wir uns den Ring dort eingebogen denken müssen, wie es die Strich- und Punktlinie etwa andeutet.

Wollte man noch länger an den Grundsätzen Sir William Herschels festhalten und annehmen, dafs alle Fixsterne von ziemlich gleicher Gröfse seien, dafs man also durch Aichung, d. i. durch Auszählung kleiner Sterne gleichen Lichtwertes auf einem eng begrenzten Gebiete des Himmels, ihre Verteilung im Weltraum ermitteln könne, so

würden wir von dem Milchstrafsengebäude ein so seltsames körperliches Bild erhalten, wie es Fig. 5 zeigt.

Fig. 5.



Die Sternenwelt der Milchstrafse nach W. Herschels Grundsätzen. Das Sonnensystem befindet sich in der Mitte; die Löcher sind die Mündungen der tunnelförmigen Öffnungen in der Milchstrafse.

Neuerdings hat Proctor [1]) den Versuch gemacht, die Milchstrafse in anderer Weise zu erklären.

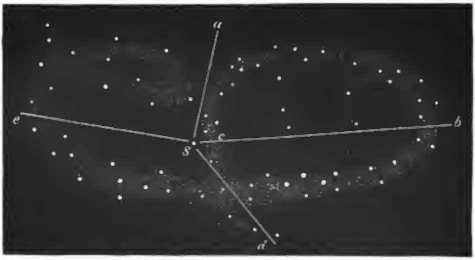
Um den Milchstrafsengürtel scharen sich nämlich vorzugsweise die hellen Sterne; dagegen trifft man umgekehrt keine Sterne über fünfter Gröfse und nur wenige von diesen in den Kohlensäcken, ebenso wenige in der Milchstrafsenspalte des Schiffes Argo oder in der Insel, welche die Milchstrafse als doppelter Strom umschliefst. Wäre dies ein Zufall, so müfste er sicherlich als eine grofse Sonderbarkeit gelten. Bei dem Einzeichnen in seine neuen Sternkarten wurde Proctor überrascht, wie oft helle Sterne gleichsam die Grenzsteine für die Ufer der Milchstrafse bildeten; er erkannte daraus deutlich, dafs ein enger Zusammenhang besteht zwischen den hellen Sternen und den kleinen, aus welchen der Milchstrafsenschimmer zusammengesetzt ist und die bisher für so unendlich fern von uns gehalten wurden. Proctor denkt sich deshalb die Anordnung ihrer Lichtkörper als eine spiralförmig gekrümmte Strömung, wie dies Fig. 6 andeutet.

Befinden wir uns bei S, so würde bei a die Lücke im Schiff Argo liegen. In der Richtung nach b aber würden zwei Zweige wahrzunehmen sein, wovon der eine (b), weil er unendlich fern ist, nur schwach leuchtete, während der andere (c), weil er um vieles näher ist, den hellsten Teil der Stromwindung uns darböte. Die matte Strecke der Milchstrafse in den Zwillingen und dem Einhorn würde bei e und der Auswuchs im Cepheus bei d gesehen werden. Die dunkle Stelle der Kohlensäcke könnte man sich so erklären, dafs sich dort die Sternenströmung spiralförmig von uns hinweg in weite Fernen hinaus krümmte, so dafs wir dann scheinbar durch eine Schleife blickten. Man sollte übrigens, ermahnt uns Proctor, die hier

[1]) l. c. p. 246 sq.

gegebene Figur nicht etwa als die einzig mögliche Form der Milchstrafsenströme ansehen. Man könnte sich die Spirale noch anders, vielleicht noch besser zur Erklärung der thatsächlichen Erscheinungen

Fig. 6.



Die Milchstrafse gedacht als spiralförmige Sternenströmung (nach Proctor).

gewunden denken. Ob die Spirale einfach oder doppelt sei, lasse sich bestreiten oder verteidigen; das einzige nur, worauf man fest bestehen müsse, sei die Behauptung, dafs die Milchstrafsenkörper nahe zusammengeschart einen Strom bilden und dafs die hellen Sterne im Milchstrafsenlicht zu diesem Strome gehören.

Sehr bedeutsam ist es ferner, dafs gerade bei den kleinen Sternen, die zur Milchstrafse gehören, Lichtschwankungen häufig eintreten, die bei den grofsen Sternen kaum oder gar nicht vorkommen. Alle neu auflodernden oder zeitweilig ihre Lichtstärke rasch und mächtig ändernden Gestirne liegen in der Nachbarschaft der Milchstrafse.

Bisher haben wir immer noch die Wahl, uns für das alte Sternengebäude Sir William Herschels oder für die neue Anordnung Proctors zu entscheiden, wenn wir auch schon zugeben müssen, dafs die letztere viel besser erklärt, was bei dem ersteren immer auf Rechnung eines seltsamen Zufalls geschrieben werden müfste. Allein es lassen sich noch mehrere Beweise anführen, welche die Grundlage von Herschels Weltgebäude vollständig erschüttern.

Sir William Herschels Anschauung von der Milchstrafse steht und fällt mit der Voraussetzung, dafs die Fixsterne von ziemlich gleicher Gröfse seien, dafs folglich ein schwacher Stern nicht ein kleiner, sondern ein sehr ferner, ein heller Stern nicht ein sehr grofser, sondern ein sehr naher Lichtkörper sei. Zu diesem kühnen Schlufs aber würden ihn die Verhältnisse der von unseren Astronomen besser gekannten Welt nicht berechtigen. Giebt es innerhalb des Sonnensystems Sterne

von allen Gröfsen, — wir erinnern an die Sonne selbst, an Jupiter, die Erde, den Mond, die Asteroiden — so dürfen wir von vornherein eine ähnliche Verschiedenheit auch in der Fixsternenwelt erwarten. Es wäre also recht wohl denkbar, dafs schwache Sterne kleine und helle grofse sind. Diese Annahme hat in der That ihre wissenschaftliche Begründung erhalten, seitdem die Parallaxen einer gröfseren Anzahl von Fixsternen bestimmt worden sind.

Wir haben schon oben darauf hingewiesen, dafs man seit Entdeckung und Messung der parallaktischen Bewegungen der Sterne auch deren Entfernungen von der Erde zu berechnen vermag. So wissen wir, dafs α Centauri 4,44 Billionen geographische Meilen oder 222 000 Sonnenweiten von uns entfernt ist. Würde unsere Sonne an dem Orte von α Centauri stehen, so würde sie uns nur $^1/_{49\,284\,000\,000}$ soviel Licht als gegenwärtig zusenden. Von α Centauri empfangen wir aber $^1/_{16\,950\,000\,000}$ soviel Licht als von unserer Sonne. Hieraus ergiebt sich, dafs α Centauri ungefähr dreimal soviel Licht ausstrahlt als unser Tagesgestirn und somit auch, wenn wir die Lichtstärke eines Sternes als Mafs für seine Gröfse betrachten dürfen[1]), viel bedeutendere Dimensionen besitzen mufs als dieses. Bringen wir selbst noch die Leistung des Doppelsternes in Abzug, so finden wir doch, dafs der Durchmesser von α Centauri zu dem der Sonne sich ungefähr wie 8 zu 5 verhält[2]).

Sirius, der an Helligkeit α Centauri um das vierfache übertrifft, hat eine scheinbare jährliche Bewegung, die 4,8 mal kleiner ist als die von α Centauri. Er ist also 4,8 mal so weit von uns entfernt als α Centauri; letzterer würde demnach nur den 23. Teil ($4{,}8^2 = 23$) seines Lichtglanzes entwickeln, wenn er sich an Sirius' Stelle befände. Nun aber leuchtet uns Sirius viermal so hell als α Centauri; somit übertrifft seine Lichtwirkung diejenige von α Centauri um das 92-, die unserer Sonne um das 276fache. Setzen wir bei den Fixsternen gleiche innere Helligkeit (Lichtintensität) voraus, so hat Sirius einen 16,6 mal so grofsen Durchmesser als unsere Sonne ($\sqrt{276} = 16{,}6$), nämlich einen solchen von 3 087 600 geogr. Meilen, und einen Rauminhalt, welcher das Material von 4574 Sonnen aufzunehmen vermöchte.

Ferner kennen wir den Abstand des Doppelsternes sechsten Lichtwertes, der in den Katalogen 61 Cygni genannt wird. Er ist uns um nicht ganz 1,7 α-Centauri-Fernen entrückt. Jeder der beiden Sterne gewährt uns nur $^1/_{100}$ des Lichts, welches wir von α Centauri empfangen. Der letztgenannte Himmelskörper würde uns an der Stelle

[1]) Ein anderes Mafs für die Gröfse der Fixsterne steht irdischen Beobachtern leider nicht zur Verfügung.

[2]) Vgl. Proctor, l. c. p. 221 sq.

von 61 Cygni ein 2,9mal schwächeres Licht zusenden als jetzt, aber immer noch 34,5mal mehr Licht als einer der beiden genannten Doppelsterne. Daraus folgt, daſs, wenn Helligkeit der Maſsstab der Gröſse ist, jeder der beiden Sterne von 61 Cygni etwa den sechsten Teil vom Durchmesser und nur $^1/_{200}$ vom Körperraum des α Centauri besitzt. Jeder der beiden Sterne von 61 Cygni hat einen Durchmesser, welcher gleich ist $^4/_{15}$ des Sonnendurchmessers, und ein Volumen, welches ungefähr $^1/_{50}$ des Sonnenvolumens entspricht. In dem Raumumfang des Sirius aber könnten nicht weniger als 229000 Sterne von der Gröſse der Geschwistersterne 61 Cygni Raum finden!

Somit ist klar erwiesen, daſs sich die Fixsterne hinsichtlich ihrer Gröſse sehr stark unterscheiden, daſs also groſse Helligkeit nicht unbedingt auf groſse Annäherung an die Erde, ebensowenig matter Lichtschimmer auf unermeſsliche Entfernungen zu schlieſsen gestattet. Es zeigt sich vielmehr, daſs die Verhältnisse des Rauminhalts oder der Körpergröſse bei den wenigen Sternen, die uns derartige Bestimmungen erlauben, wahrscheinlich zwischen 1 und 229000 schwanken.

Der zweite glänzende Beweis, welchen Proctor für die Richtigkeit seiner Anschauungen beigebracht hat, gründet sich auf die Eigenbewegungen der Fixsterne.

Wir schicken voraus, daſs Fixsterne durchaus nicht feststehende Sterne sind, sondern uns nur wegen ihrer groſsen Entfernung unbewegt erscheinen. Halley[1]) wies zuerst eine solche Ortsveränderung am Sirius, Arcturus und Aldebaran nach[2]), und wirklich ist gegenwärtig Arcturus um $2^1/_2$ Vollmondbreiten von demjenigen Punkte des Himmels entfernt, an welchem er sich zu Hipparchs Zeiten befand. Um die Thatsache ihrer Bewegung über jeden Zweifel zu erheben, bedurfte es nicht bloſs sorgfältiger und fleiſsiger Beobachtungen, sondern auch vorzüglicher Instrumente; deshalb hat erst die neuere Zeit Gründliches hierin geleistet. Eine vortreffliche Basis für derartige Untersuchungen lieferte der im Jahre 1755 entworfene Bradleysche Sternenkatalog. Er zeigt uns die Stellung der Sterne vor 130 Jahren; für diejenigen, welche fortgesetzt beobachtet wurden, kennt man die

[1]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. XXX (1718), p. 736—738.

[2]) Man verwechsele ja nicht die wahren Bewegungen der Fixsterne, von denen jetzt die Rede ist, mit ihren scheinbaren (parallaktischen) Bewegungen, welche oben besprochen worden sind. Die letzteren vollziehen sich stets in einem Erdenjahr auf einer Ellipse und sind nur optische Verschiebungen, bewirkt durch den Umlauf unseres Planeten um die Sonne. Sie würden nicht existieren, wenn die Erde auf einem Punkte im Weltraum feststünde, während die wahren Bewegungen der Fixsterne in diesem Falle nicht gestört werden könnten.

allmähliche Veränderung ihrer Lage bis heute. So hat man gegenwärtig für mehr als 4000 Sterne durch direkte Messung ein Fortschreiten im Weltraum nachgewiesen.

Übrigens war dies früher nur möglich, wenn die wandernden Sterne die Gesichtslinie eines irdischen Beobachters quer durchkreuzten, aber nicht wenn sie sich in gerader Linie auf uns los oder von uns hinweg bewegten. Mit Hilfe des Spectroskops ist auch dieses ausführbar geworden, sobald die Verschiebung von Fraunhoferschen Linien im Spectrum von Fixsternen eine meſsbare Gröſse erreicht. Huggins hat zuerst dieses Verfahren angewandt. So fand er unter anderem, daſs fünf Sterne (β, γ, δ, ε, ζ) in dem Bilde des Groſsen Bären durchschnittlich 6,5 geographische Meilen in der Sekunde vom Sonnensystem zurückweichen, während andere Sterne, wie Arcturus, der überdies zugleich auch eine seitliche Bewegung macht, sich ihm nähern.

Die stärkste Eigenbewegung beobachtete man bisher an folgenden Sternen:

	Gröſse des Sternes	Jährliche Bewegung in Bogensekunden
2151 Puppis des Schiffes	6	7,87[1]
1830 des Katalogs der Circumpolarsterne von Groombridge, auf der Grenze der Jagdhunde und des Groſsen Bären	7	7,05
9352 in Lacailles Verzeichnis, im Sternbilde des südlichen Fisches	7,8	6,96
61 Cygni, Doppelstern	5,6	5,21
Lalande 21185	7	4,73
ε Indi	5,6	4,58
Lalande 21258	8,5	4,40
40 Eridani	4,5	4,09
μ Cassiopeiae	5,5	3,83
α Centauri, Doppelstern	1	3,67

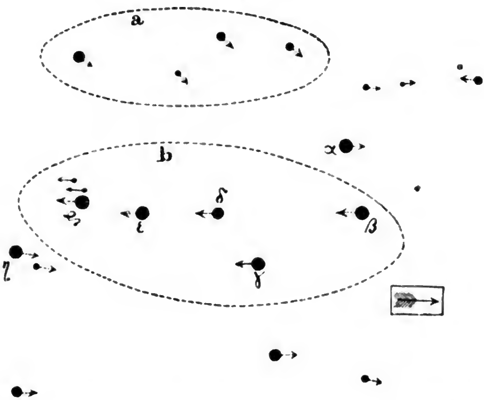
Mit der Eigenbewegung der Fixsterne hat sich Proctor neuerdings viel beschäftigt. Er hat auf verschiedenen Wegen Rechnungen angestellt über 1167 als beweglich erkannte Fixsterne, und stets kam er zu dem Ergebnis, daſs die Entfernung der lichtschwachen Fixsterne bisher gewaltig überschätzt worden sei. Schlagend ist insbesondere folgende Beweisführung. Sondert man jene 1167 Fixsterne in zwei Klassen, nämlich in solche erster, zweiter, dritter und in solche vierter, fünfter, sechster Lichtstärke, so findet man, daſs die durchschnittliche

[1]) Dieser Stern würde in etwa 4000 Jahren am Himmel eine Strecke durchlaufen wie die Sonne vom Aufgang bis zum Mittag.

Bewegung der lichtschwachen Sterne fast genau übereinstimmt mit derjenigen der hellen. Wären nun in der Regel helle Sterne uns nahe und lichtschwache Sterne uns fern, so müfsten die scheinbaren (angulären) Bewegungen der hellen Sterne, weil sie in unserer Nähe vorgehen, im allgemeinen gröfser, die der lichtschwachen Sterne, weil sie sich in der Ferne vollziehen, kleiner sein. Die Rechnung zeigt aber im Gegenteil, dafs sich die Klasse der hellen Sterne nicht rascher bewegt als die der lichtschwachen, und daraus folgt, dafs die Lichtstärke derselben mehr von ihrer Gröfse abhängt als von ihrer Entfernung — ein ganz unerwartetes und unvorhergesehenes Ergebnis [1]).

Einen anderen Beweis für die Richtigkeit seiner Anschauungen gewann Proctor, als er bei Entwurf seiner neuen Karten die Eigenbewegungen der Fixsterne der Richtung nach verglich. Schon Mädler hatte entdeckt, dafs im Bilde des Stieres die Sterne nach gemeinsamen Richtungen ziehen. Proctor erkannte jedoch, dafs dieses Verhalten nicht auf den angegebenen Himmelsraum beschränkt sei, sondern dafs sich allenthalben gleichförmige Sternenströmungen vorfinden.

Fig. 7.



Eigene Bewegungen der Sterne im Grofsen Bären und in der Nachbarschaft desselben (nach Proctor). Der gefiederte Pfeil zeigt die Richtung an, welche das Sonnensystem einschlägt.

So gewahren wir auf der obenstehenden Zeichnung von Proctor (Fig. 7) mit Überraschung, dafs die Sterne im Grofsen Bären und

[1]) Proctor, l. c. p. 265 sq.

in seiner Nachbarschaft gruppenweise gewisse Richtungen verfolgen [1]). Ebenso merkwürdig ist der Anblick einer Sternenströmung in den Bildern des Krebses und der Zwillinge (Fig. 8). Hier haben wir

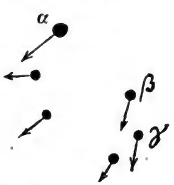
Fig. 8.



Die Sternenströmung in den Bildern des Krebses und der Zwillinge (nach Proctor).

66 Sterne vor uns. Bei weitem die Mehrzahl bewegt sich diagonal von links nach rechts und von oben nach unten, eine Minderzahl von rechts nach links und ebenfalls zugleich von oben nach unten. Unter allen diesen Sternen aber bemerken wir nur vier, die von unten nach oben wandern, keinen, der entschieden von rechts nach links seinen Weg nimmt. Auch übersehe man nicht, wie viele Gestirne in streng parallelen Richtungen abströmen. Als drittes Beispiel führen wir noch eine Sterngruppe aus dem Haupte des Widders (Fig. 9) an, deren Glieder sich zwar nicht parallel bewegen, immer aber ohne Ausnahme Richtungen einschlagen, welche

Fig. 9.



Eigene Bewegung der Fixsterne im Haupte des Widders (nach Proctor).

[1]) In den beifolgenden Figuren entspricht die Eigenbewegung, wie sie durch Richtung und Länge der Pfeile angedeutet wird, einem Zeitraum von 36000 Jahren.

innerhalb eines Quadranten Platz finden. Nach Proctor darf man sich die Sterne β und γ in gleicher Richtung mit α ziehend denken, nur dafs jeder von ihnen durch eine geringe individuelle Bewegung den Parallelismus ein wenig stört.

Nun gehören in diesen und anderen Fällen Sterne von den verschiedenartigsten Lichtwerten zu einer Sternenströmung, also zu einer Sterngruppe und sind somit im allgemeinen auch gleich weit von uns entfernt. Hieraus geht deutlich hervor, dafs wir kein Recht haben, kleine Sterne für sehr entfernte Objekte zu halten, überhaupt die Entfernungen der Sterne nach dem Mafse ihrer Lichtstärke zu beurteilen. Dadurch aber rückt uns die Milchstrafse plötzlich viel näher und mit ihr zugleich die Menge der aufgelösten Nebelflecke. Wenn daher an einzelnen Stellen des Himmels wenige Sterne auf ganz lichtlosem Hintergrund, auf gänzlicher Finsternis ausgestreut liegen, so dürfen wir ahnen, dafs wir dort in den leeren Weltraum hinausschauen.

Endlich wissen wir sogar von den unauflösbaren Nebelflecken, dafs sie nicht in unermefsliche Fernen zu versetzen sind.

Schon Kepler und Halley äufserten die Vermutung, dafs die formlosen Nebelflecke leuchtender Dunst, entzündete Gasmassen sein könnten, denen noch eine Verdichtung und Gestaltung bevorstehe. Die Gegner dieser Ansicht aber meinten, dafs sich die ungelösten Lichtschimmer mit Hilfe vervollkommneter Instrumente in Sternenhaufen zerlegen lassen würden. Der Streit wäre unentschieden geblieben, wenn nicht das Spectroskop erfunden worden wäre.

Dringt nämlich ein Strahl farblosen Lichtes durch einen dünnen Spalt und hinter dem Spalt durch ein Glasprima, so wird er dadurch zu einem farbigen Bande ausgebreitet, welches bei Rot beginnt, um nach Orangegelb, Grün, Blau und Violett überzugehen, genau nach der Skala der Regenbogenfarben. Stetige, weder von schwarzen, noch von heller leuchtenden farbigen Linien unterbrochene Farbenbilder verkünden uns fast immer, dafs der Körper, welcher das Licht aussendet, sich in festem oder flüssigem Zustande befindet, dafs er also glüht oder schmelzflüssig ist. Leuchtende Körper im gasförmigen Zustand geben kein stetiges Spectrum, sondern vielmehr farbige glänzende Linien auf schwarzem Grunde.

Nun galt es, jene Lichtquellen am Himmel durch das Spectroskop zu befragen.

Am 29. August 1864 richtete Huggins[1]) sein analytisches Fernrohr nach einem Nebelfleck im Drachen (Nr. 4373, nach Herschels

[1]) Vgl. seine Abhandlung „On the Spectra of some of the Nebulae" in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLIV (1864), p. 437—444.

Katalog 37 H. IV.), und zu seiner grofsen Überraschung fand er statt eines kontinuirlichen Farbenbandes drei helle abgesonderte Linien. Damit war die Frage nach der wahren Natur dieses Nebelfleckes mit einem Schlage definitiv entschieden. Das Licht desselben geht nicht von einem festen oder flüssigen glühenden Stoff, sondern von einer glühenden Gasmasse aus. Mikrometrische Messungen ergaben, dafs die eine Linie der hellsten Linie des irdischen Stickstoffspectrums sehr nahe liegt, dafs die schwächste dagegen mit der grünen Wasserstofflinie zusammenfällt, die mittlere Linie aber mit keinem Spectrum irdischer Stoffe sich vergleichen läfst, sondern nur der Bariumlinie am meisten sich nähert. Aufser diesen hellen Linien sah man noch ein äufserst schwaches stetiges Farbenbild, welches auf die Existenz eines kleinen, leuchtenden, aber nicht gasförmigen Kernes hindeutet. Andere unauflösbare Nebelflecke zeigten nahezu dieselben Spectra, bestehend aus zwei, drei oder vier farbigen Linien. Stickstoff und Wasserstoff sind jedenfalls die Elemente, aus denen sie vorzugsweise zusammengesetzt sind.

Nun wurden auch aufgelöste (fälschlich so genannte) Nebelflecke, also Sternenhaufen, mit Hilfe des Spectroskops untersucht, und sofort lieferte dieses ein Farbenbild ohne Unterbrechung.

Von 46 zugleich teleskopisch geprüften Nebelflecken zeigten nach Huggins im Spectroskop [1]):

	stetige Farbenbilder	getrennte Farbenbilder
Sternenhaufen	10	—
Aufgelöste oder vielleicht aufgelöste Nebel	5	—
Auflösbare oder vielleicht auflösbare Nebel	10	6
Blaue oder grüne nicht auflösbare Nebel	—	4
Nebel ohne Zeichen von Auflösbarkeit	6	5

Aus dieser Übersicht geht hervor, dafs das Prisma als Sternenhaufen oder auflösbare Nebelflecke genau dieselben Lichtschimmer bezeichnet wie das Teleskop und als echte Nebelflecke nur solche, welche nicht auflösbar gewesen waren oder im Verdacht der Unauflöslichkeit standen. Demnach giebt es echte Lichtnebel; ihre Unauflöslichkeit deutet somit nicht notwendig eine schwer erreichbare Ferne an. Im Gegenteil dürfen wir es schon aussprechen, dafs manche der ungelösten Nebelflecke uns verhältnismäfsig sehr nahe liegen.

[1]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLVI (1866), p. 383.

Interessant sind in dieser Beziehung die Ortsveränderungen von Doppelnebeln. Ihre Bewegung gleicht derjenigen der Doppelsterne, d. h. sie kreisen wie diese um einen gemeinsamen Schwerpunkt. Ein Beispiel bietet ein merkwürdiger Doppelnebel in den Zwillingen (7 Stunden 16,7 Min. Rectasc. und 29° 45′ nördl. Dekl.). Sir William Herschel beobachtete ihn im Jahre 1785 und fand den Abstand beider Componenten zu 60″. Im Jahre 1827 betrug er blofs 45″, 1862 sogar nur 28″, und zwischen 1827 und 1862 hatte sich die Stellung der beiden Nebel gegen einander um $11^{1}/_{2}{}^{0}$ eines Kreises verändert. Es findet sonach wahrscheinlich eine Umlaufsbewegung statt, die nach den angegebenen Gröfsen etwa in 1100 Jahren einmal vollendet wird; möglicher Weise erfolgt sie noch rascher. „Wie dem aber auch immer sein möge, solche Umlaufsbewegungen von Doppelnebeln von einer analogen Dauer wie diejenige vieler oder der meisten Doppelsterne beweisen, dafs jene Nebel durchaus unserem Fixsternensystem angehören, dafs sie wahre Nebelmassen sind, die nicht jenseits unserer Sternenschicht im öden Oceane des Raumes lagern, sondern vielmehr in unserem Sternenhaufen stehen in verhältnismäfsig geringer Entfernung von uns“ [1]).

Was bisher immer nur als Hypothese gegolten hatte, dafs nämlich die unauflösbaren Nebelflecke gasartige Massen seien, die dem noch ungeballten Urstoff angehören, aus welchem die Fixsternkörper durch Verdichtung sich abgesondert hätten, das darf jetzt mit ziemlicher Sicherheit ausgesprochen werden, und wie der Vorgang stattfindet, werden wir weiter unten bildlich zeigen.

Die Milchstrafse selbst wäre demnach nichts anderes als eine Nebelmasse der siderischen Vorzeit, die sich fast überall schon zu kleinen Sternen verdichtet hat, worauf sich diese letzteren zu grofsen Strömungen zusammenscharten. Dies wird sehr glaubhaft durch die Wahrnehmung Proctors [2]), dafs die unauflöslichen Nebelflecke die Nähe der Milchstrafsenufer scheuen, dafs sie sich vielmehr auf dem nördlichen Himmel in der Nähe des Milchstrafsenpols zusammen drängen. Auf dem südlichen Himmel findet zwar das gleiche Verhalten nicht statt; wohl aber liegen dort die Nebelflecke, entweder in Streifen geordnet oder zu Schwärmen vereinigt, aufserhalb der Milchstrafse. Jedenfalls ist dieselbe auf beiden Halbkugeln fast gänzlich rein von Nebelflecken. Dies letztere gilt jedoch nur von den unauflöslichen, zu denen aber vier Fünftel sämtlicher Nebelflecke zählen; umgekehrt scheinen die aufgelösten Nebelflecke, also die Sternenschwärme, die

[1]) Hermann J. Klein im Ausland 1872, S. 201.

[2]) Proctor, l. c. p. 283 sq.

Nähe der Milchstrafse entschieden zu bevorzugen. Auch sogenannte unaufgelöste, aber für auflösbar oder halb auflösbar gehaltene Nebelflecke kommen in der Milchstrafse vor, aber bei weitem nicht so häufig wie die aufgelösten.

Die Bedeutung dieser Thatsachen ist leicht zu erfassen. Aller Nebelschimmer am Himmel steht in Beziehung zur Milchstrafse. Diese selbst ist ein zu unzählbaren Weltkörpern verdichteter, vormals gasartiger Lichtdunst, und die Nebelflecke bieten uns alle möglichen Zwischenstufen von leuchtenden Gasmassen ohne jede Verdichtung, von Gasmassen, bei denen die Verdichtung schon im Werke ist (unaufgelöste, aber halb auflösbare Nebelflecke), und von völlig verdichteten ehemaligen Gasmassen (aufgelöste Nebelflecke oder Sternenschwärme). Nun gewähren uns die Nebelflecke den Reiz historischer Gemälde: wir erblicken jetzt in den Sternen verdichtete Nebel und in den Nebeln die ersten Anfänge neuer Sternenbildung.

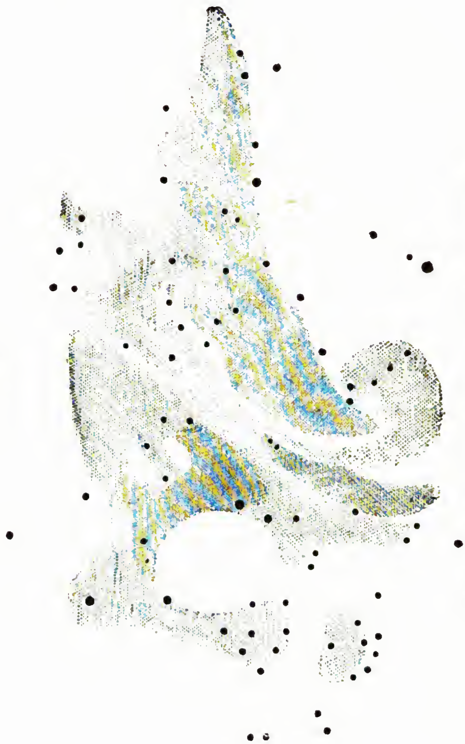
Denken wir uns den ehemaligen Lichtdunst ungeordnet im Weltraum verbreitet, so mufste, wenn örtlich eine Verdichtung, ein Zusammenballen der Massen eintrat, um diese Dunstbälle ein körperleerer Raum zurückbleiben. So oft Sir William Herschel bei seiner nächtlichen Durchforschung des Sternenhimmels längere Zeit durch sein Gesichtsfeld einen sternenöden Himmelsraum hindurchgehen sah, rief er seiner Schwester Mifs Caroline Herschel zu: „Mach' dich gefafst auf baldiges Eintreffen von Nebelflecken!" Diese Erfahrung wurde auch von Sir John Herschel bestätigt. Wie können wir also Nebelflecke für transgalaktische Milchstrafsensysteme halten, wenn nur ein eigensinniger Zufall sie just auf die sternenöden Räume des Himmels verteilt hätte? Die Nebelflecke vertreten vielmehr die vermifsten Sterne, und die entblöfsten Stellen in der Nähe sind Räume, welche durch die Nebelflecke verheert worden sind.

Als sich beispielsweise die Magalhaësschen Wolken (am südlichen Himmel) verdichteten, hinterliefsen sie jenseits ihrer Ränder einen sternenöden Raum. Nicht nur scheuen alle Sterne hohen Lichtwertes die Nähe der Magalhaësschen Wolken, sondern jenseits ihrer Ufer beginnen lichtlose Himmelsräume. Eines der Gesichtsfelder in der Nähe der Wolken wird von Sir John Herschel „eine kläglich arme und sterile Himmelsstrecke" genannt, und ein anderes Mal sagt er: „Wenn man sich (teleskopisch) den beiden Wolken nähert, mufs man zuvor einen wüsten Raum durchkreuzen."

Nun sind wir hinlänglich vorbereitet, um die Entwicklung der Fixsterne aus dem gasigen Lichtdunst an einem bestimmten Beispiel zu erläutern. Der beigegebene Holzschnitt (Fig. 10) zeigt uns einen Nebelfleck (in den Katalogen als Messier 17 bezeichnet) mit den

zugehörigen Sternen. Die dunklen Punkte stellen die Sterne, die schraffierten Stellen die helleren und matteren Lichtdünste dar. Man sieht auf den ersten Blick, daſs die meisten Sterne den Rand des Nebelfleckes begrenzen. Dort ist durch die Verdichtung zu Sternen

Fig. 10.



Der Nebelfleck Messier 17 gesehen durch Lassells vierfüſsiges Spiegelteleskop.

der Dunst bereits zusammen geballt, bei einigen auſsen liegenden Sterngruppen schon völlig verschwunden. Links, wo ein runder Hohlraum in den Nebeldunst eindringt, bemerkt man deutlich, daſs die Verdichtung vom Rand aus nach dem Innern fortgeschritten sein muſs.

In der Mitte des Bildes gewahrt man drei Furchen, jede mit zugehörigen Sternen versehen, deren Kielwasser — möchten wir sagen — in den Lücken sichtbar ist. Die Erscheinung wiederholt sich rechts davon in den zwei minder dunklen Streifen auf dunklem Grunde. Die Kant-Laplacesche Hypothese von der Entstehung der Fixsterne aus Gasmassen findet hier ihren sinnlich wahrnehmbaren Beweis.

Nun sagt sich vielleicht der eine oder der andere, daſs jene Wahrnehmung auf den einen Nebelfleck wohl passen kann, aber nicht auf tausend andere. Wir haben daher, als das Bild von Proctor uns in die Hände fiel, alle Abbildungen von unauflöslichen Nebeln, die von anderen Astronomen schon früher und in gänzlicher Unbekanntschaft mit den neuen Anschauungen entworfen wurden, soviel uns deren zu Handen waren, verglichen, und überall hat sich ein sichtbarer Zusammenhang zwischen den Sternen und ihrem dunstig schimmernden Hintergrund erkennen lassen [1]).

Die merkwürdigste Folgerung aus Proctors Darstellungen ist die, daſs wir jetzt die Körperwelt als ein Ganzes überschauen. Wir gewinnen die Überzeugung, daſs das System der Milchstraſse nicht eine abgesonderte Insel bildet und die Nebelflecke ebenso viele Milchstraſsen sind, sondern daſs die Nebelflecke nur einen Gegensatz zur Milchstraſse darstellen oder ihren Kontrast bilden, insofern sie von der Milchstraſse zurückweichen, was uns den Eindruck gewährt, als hätte die Milchstraſse bei ihrer Verdichtung alle Sternenhaufen in ihrer Nähe an sich gerafft und jenseits ihrer Ufer eine Öde von Nebelflecken hinterlassen, gerade so wie sich um die Ränder der Lücken im Gewebe der Milchstraſse die Sterne und Sternenhaufen dichter zusammenscharen.

Wir haben somit kein Recht, die Nebelflecke als Milchstraſsensysteme anzusehen. Die Körperwelt reicht vielleicht nicht weiter hinaus als bis zu den äuſsersten Sternen der Milchstraſse, so daſs wir sagen dürften: Alles, was Lichtreize auf unsere Sehnerven ausübt, sei es, daſs dies mit oder ohne optische Vorrichtungen geschieht, das ist die Körperwelt, und die dunklen Lücken am gestirnten Himmel sind Öffnungen in den körperlosen Weltraum.

Nun könnte man noch die Frage aufwerfen: Besteht vielleicht hinter der sichtbaren Körperwelt eine für uns unsichtbare, hinter dem räumlichen Diesseits noch ein räumliches Jenseits?

Unserem Erachten nach ist dies kaum denkbar. Aus der Kenntnis unseres Sonnensystems ergiebt sich, daſs die Abstände der Monde von den Planeten unendlichfach die Durchmesser der Monde übertreffen und ebenso wieder, daſs die Abstände der Planeten von der

[1]) Peschel im Ausland 1870, S. 776.

Sonne unendlichfach grösser sind als ihre Durchmesser. In dem nämlichen Sinne übertrifft der Abstand anderer Fixsternsonnen von unserem Sonnensystem den Durchmesser des letzteren in einem ganz enormen Zahlenverhältnis. Gäbe es nun, wie man bisher angenommen hat, aufserhalb unserer Milchstrafse, die ein Ganzes bildet, andere Milchstrafsensysteme, so müfsten dementsprechend diese extragalaktischen Michstrafsensysteme von uns um das Tausend-, ja Millionenfache des Milchstrafsendurchmessers entfernt sein. Da nun schon die äufsersten Lichtkörper unserer Milchstrafse in den stärksten Fernrohren kaum getrennt erscheinen, was dürften wir dann von der Sichtbarkeit jener in namenloser Ferne vermuteten Milchstrafsensysteme erwarten?

Hätte die Sternenwelt keine räumlichen Grenzen, wäre sie unendlich und würde in jeder Richtung des Auges ein Milchstrafsensystem liegen, dann müfste der ganze Sternenhimmel mit nahezu gleichmäfsiger Lichtglut auf uns herableuchten. Die Vorstellung, dafs die Körperwelt von den kleinsten Systemen zu immer gröfseren geordnet sei, dafs, wie Monde zu den Planeten, Planeten zu dem Sonnensystem gehören, sich auch Sonnensysteme zu Milchstrafsensystemen, Milchstrafsenschwärme wiederum zu Milchstrafsengalaxien vereinigen und so fort bis ins Unendliche — diese Vorstellung ist als eine rein willkürliche nicht mehr haltbar.

Man hat noch auf anderem Wege die Unendlichkeit der Körperwelt zu retten gesucht. Das Licht — sagt man — müsse auf einem recht weiten Wege zuletzt erlöschen, sein Wellenschlag ermatten und schliefslich aufhören, so dafs — nach dem Ausdruck A. v. Humboldts — Welten so fern liegen könnten, dafs ihre Lichtstrahlen nicht mehr die Ufer unserer Körperwelt zu erreichen vermöchten. W. Struve[1]) hat sogar den Coefficienten dieser Erlöschung des Lichtes zu bestimmen versucht und gefunden, dafs letztere für Herschels entfernteste Sterne volle 88 Prozent der Lichtintensität beträgt.

Indes ist die Erlöschung des Lichts auf weitem Raum noch nicht mit Sicherheit erwiesen, und selbst wenn sie sich erweisen liefse, so wäre damit nur die mögliche Existenz unendlich ferner, unserer sinnlichen Wahrnehmung entrückter Welten dargethan. Auf den Nachweis der *wirklichen* Existenz müfsten wir in diesem Falle für immer verzichten.

Somit ist diese Hypothese gegenwärtig an sich ganz müfsig. Sie ist aus dem Entwicklungsgang der Astronomie entsprungen, welche beständig bestrebt war, die Grenzen des Weltgebäudes in gröfsere Fernen hinauszurücken. Seitdem die alten Philosophen der jonischen

[1]) Études d'astronomie stellaire. St.-Pétersbourg 1847. p. 89.

Schule sich die Welt sehr eng, den Himmel als eine bewegliche Krystallschale, die Fixsterne als ihre eingehefteten goldenen Nägel dachten, hat jeder Fortschritt in der Astronomie die Grenzen der Körperwelt erweitert. Aristoteles und die alexandrinischen Astronomen verwarfen noch die Achsendrehung der Erde und ihre Bewegung um die Sonne, weil sie den Fixsternenraum sich noch viel zu eng dachten. Er wurde gröfser, so wie das Copernicanische System zur Geltung gelangte. Die Entdeckung des Fernrohres und jede Verschärfung der teleskopischen Sehkraft schob die Grenzen der Körperwelt immer weiter und weiter hinaus, bis endlich die Wissenschaft ihr Ziel überschofs und zur Annahme der Unendlichkeit fortgerissen wurde.

Huggins' Entdeckungen und Proctors Darstellungen sind die ersten und bedeutsamen Schritte zu einer Umkehr. Wir haben bei dem heutigen Stande der Wissenschaft guten Grund, die von ihnen der Körperwelt zugewiesenen Schranken anzuerkennen. Es erscheint uns demnach die Annahme völlig gerechtfertigt, dafs die sternen- und nebelfreien Öffnungen am Himmel Blicke in den leeren Raum verstatten und dafs der letzte, schwächste Schimmer des Milchstrafsensystems uns zugleich die Grenze der Körperwelt bezeichnet.

II. Die zeitliche Begrenzung der Körperwelt.

Nachdem wir in dem vorhergehenden den Nachweis zu führen versucht haben, dafs die Körperwelt räumlich begrenzt sei, legen wir uns die Frage vor: Dürfen wir der Körperwelt auch zeitliche Schranken zuerkennen?

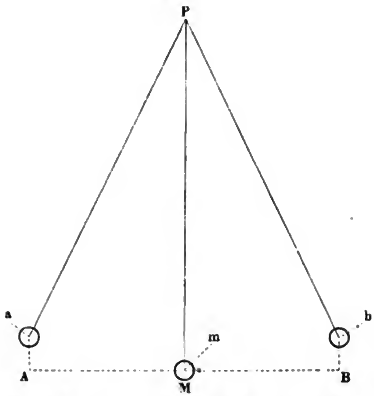
Diese Frage klingt befremdend, weil die Chemie uns belehrt hat, dafs die Stoffe unzerstörbar seien, so dafs die Körperwelt in einem zukünftigen Moment genau so viel wiegt wie im gegenwärtigen. Dennoch werden wir uns überzeugen, dafs die Körperwelt wenigstens insofern einem Ende entgegengeht, als der ungeheure Vorrat lebendiger Kräfte, deren Träger sie jetzt ist, allmählich aufgezehrt wird, wobei sie natürlich einem Zustand der Ruhe, der Erstarrung, des Todes verfällt. Wir schöpfen diese Überzeugung, so seltsam dies zunächst auch erscheinen mag, aus dem Gesetz von der Erhaltung oder Unzerstörbarkeit der Kraft, einem Gesetz von der weittragendsten Bedeutung, welches in seiner allgemeinen Form von Julius Robert Mayer, einem schwäbischen Arzte, aufgestellt worden ist und dessen Namen unsterblich gemacht hat [1]). Dieses Gesetz lautet: Die Quantität der in dem Naturganzen vorhandenen Kraft ist unveränderlich. Nach diesem Gesetz kann also vom Verbrauch einer Kraft nicht die Rede sein; jede Kraft wird vielmehr, auch wenn sie für vernichtet gilt, umgesetzt in eine ihr gleichwertige andere Kraft.

[1]) J. R. Mayers erste Abhandlung hierüber erschien 1842 in dem Maihefte der „Annalen für Chemie und Pharmacie“ von Wöhler und Liebig unter der unscheinbaren Überschrift „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur.“ Jenes Gesetz war nicht absolut neu; für beschränkte Gebiete von Naturerscheinungen war es schon von Newton und Bernouilli, sowie von Graf Rumford und Humphrey Davy ausgesprochen worden. Mayers Verdienst war es, seine allgemeine Gültigkeit erkannt und nachgewiesen zu haben. H. Helmholtz, Populäre wissenschaftliche Vorträge. Braunschweig 1871. Bd. II, S. 141.

Wir erläutern diese Verwandlung oder Umsetzung der Kräfte durch einige Beispiele.

Die Kraft, mit welcher wir ein Gewicht heben, ist nicht verbraucht; sie wird aufbewahrt in dem schwebenden Gewicht und äufsert sich wieder beim Herabfallen desselben. Die Verwandlung einer Bewegung in Fallkraft und umgekehrt erfolgt alternierend bei den Schwingungen eines Pendels. Um das Gewicht *M* (Fig. 11) in die Stellung *a* zu bringen, d. h. in die Höhe *Aa* zu heben, mufs mein Arm eine gewisse Arbeitskraft aufwenden. Diese ist nicht verloren, sondern das Gewicht besitzt nun eine der Arbeitskraft entsprechende Fallkraft. Sobald das Gewicht losgelassen wird, folgt es dem Zug der Schwere und geht nach *M* zurück; so wird die Arbeit des gehobenen Gewichtes in lebendige Kraft verwandelt. Aber das Gewicht bleibt nicht mehr ruhig in *M* hängen, sondern schwingt vermöge der erlangten Geschwindigkeit nach *b* hin, bis der Bogen nach dieser Seite ebenso grofs ist wie der nach der Seite *a*, wobei die lebendige Kraft wieder in die Arbeit eines gehobenen Gewichtes verwandelt wird. Die nun erreichte Höhe *Bb* ist der Höhe *Aa* gleich; somit entspricht die Fallkraft, welche dem Gewicht in der Lage *b* innewohnt, genau derjenigen der Stellung *a*. Ebenso wird in den folgenden Schwingungen die Erscheinungsform der Kräfte wechseln. Diese Verwandlung der Kräfte könnte bis ins unendliche fortdauern, wenn keine gewaltsame Hemmung einträte. In Wirklichkeit werden nach Ablauf eines gewissen Zeitraumes die Oscillationen kleiner; sie hören endlich ganz auf[1]) und zwar wegen der Reibung des schwingenden Körpers am Aufhängepunkt, sowie wegen des Luftwiderstandes. Doch geht die Bewegung nicht spurlos zu Grunde; vielmehr erleiden

Fig. 11.



Verwandlung von Bewegung in Fallkraft und umgekehrt bei den Schwingungen eines Pendels.

[1]) Foucaults Pendel im Pantheon zu Paris schwang 5 bis 6 Stunden.

die hemmenden Körper durch sie eine Temperaturerhöhung: die Bewegung setzt sich in Wärme um.

Jede Bewegung, die in Ruhe übergeht, erzeugt Wärme. Jede Hemmung der Bewegung, also jeder Stofs, jede Reibung ist von einer Wärmeentwicklung begleitet. Wir könnten mannigfache Beispiele aus dem gewöhnlichen Leben hierfür anführen. Eisen wird durch Hämmern glühend; die Achsen der Wagenräder müssen durch sorgfältiges Schmieren vor der Entzündung durch Reibung geschützt werden; der Wilde erlangt durch Reiben des trockenen Holzes das Feuer.

Besonders instruktiv ist in dieser Beziehung der Apparat, welchen Grove im Jahre 1840 in der London-Institution zeigte. Er bestand aus einer Reihe von Rädern, die sich in (multiplizierende) Bewegung setzten. Am Ende der Reihe befand sich ein metallenes Rad, welches sich mit höchster Geschwindigkeit an der Peripherie eines hölzernen Nachbarrades bewegte. In der Mitte des Metallrades lag ein Stück Phosphor, welches, so lange die Bewegung dauerte, kalt blieb, aber in dem Momente sich entzündete, in welchem der arbeitende Mechanismus durch einen Hebeldruck in plötzliche Ruhe versetzt wurde. Der Versuch bewies augenscheinlich, dafs sich die Kraft, welche das Rad in Thätigkeit hielt, bei Aufhebung der Bewegung sofort in Wärme verwandelte [1]).

Umgekehrt läfst sich nun auch Wärme in mechanische Kraft umsetzen. Die von der Sonne ausgestrahlte Wärme ist es, welche die Bewegungen in unserer Atmosphäre hervorruft, die Gewässer zu Wolken in die Höhe hebt und so die Strömung unserer Bäche und Flüsse hervorruft. Der Wind und der Waldbach, welche unsere Mühlen treiben, sind also Träger der durch die Sonnenwärme ihnen mitgeteilten Arbeitskräfte. Ebenso sind es Wärmekräfte, welche die staunenswerten Arbeitsgröfsen der Dampfmaschinen liefern. Die unter dem Kessel sich entwickelnde Wärme geht in Bewegung über; sie vermag so die mächtigsten Räder in Gang zu setzen und die gröfsten Lasten zu heben.

Bewegung und Wärme sind nur verschiedene Erscheinungen der Kraft; jeder Leistung mechanischer Kraft, jeder Arbeit entspricht stets eine konstante Menge Wärme. Somit kann eine gewisse Wärmemenge in eine bestimmte Menge von Arbeit verwandelt werden; diese Arbeitsmenge kann aber auch in Wärme und zwar genau in dieselbe Wärmemenge zurückverwandelt werden, aus der sie entstanden ist; in mechanischer Beziehung sind beide äquivalent. Wir schliefsen daraus, dafs

[1]) Ausland 1866, S. 890.

die Wärme selbst eine Bewegung sei, eine innere, unsichtbare Bewegung der kleinsten elementaren Teile der Naturkörper [1]).

Wie grofs ist nun das einer bestimmten Menge von Fallkraft oder Bewegung entsprechende Wärmequantum? Das Äquivalent der Wärme suchen heifst nichts anderes als die Frage beantworten: Wieviel Kilogramm-Meter sind erforderlich, um eine Wärmeeinheit zu erzeugen, oder — indem wir die Begriffe Kilogramm-Meter und Wärmeeinheit erklären — wie hoch mufs ein Gewicht von der Schwere eines Kilogramms herabfallen, um so viel Wärme zu erzeugen, als nötig ist, um die Temperatur eines gleichen Gewichtsteiles, also eines Kilogramms Wasser, um 1 ° C. zu erhöhen? Nach Joules besten Versuchen ist eine solche Wärmeeinheit gleich 425 Kilogramm-Metern.

Jetzt verstehen wir, warum Gase, wenn sie sich ausdehnen, also eine Arbeit verrichten, einen Teil ihrer Wärme verlieren; sie verlieren nämlich dabei genau so viel Wärme, als sie Arbeit dabei zur Überwindung des Gegendruckes leisten. Werden sie hingegen comprimiert, so entwickeln sie genau so viel Wärme, als Arbeit zu einer Compression nötig ist. Nun erklärt sich uns die Thatsache, die schon Graf Rumford kannte, dafs ein Flintenlauf nach einem blinden Schufs viel heifser wird als nach Abfeuerung einer scharfen Ladung. Die Arbeit nämlich, welche zum Fortschleudern der Kugel erforderlich ist, besteht aus umgewandelter Wärme; wenn es also jemals gelänge, alle Wärme des entzündeten Pulvers auf das Geschofs wirken zu lassen, so würde der ganze Lauf kalt bleiben. Fragt man uns nun: Warum atmet man so schwer beim Besteigen eines Berges, warum schwitzt man auf Stirn, Brust, Nacken am stärksten und am allerwenigsten gerade an den Schenkeln, die doch thätig sind, während der Oberkörper ruht, d. h. von ihnen hinauf getragen wird? — so vermögen wir leicht Antwort hierauf zu geben. Die Atmungsmuskeln haben direkt sich nicht den Berg hinauf zu heben; ihr Geschäft wäre nach wie vor das nämliche. Allein damit die Muskeln Blutwärme in Bewegung verwandeln können, mufs das Blut mehr Wärme abgeben; damit es mehr Wärme abgeben kann, mufs der Verbrennungsprozefs durch Lufteinfuhr gesteigert werden. In den Muskeln der Schenkel wird die Mehrproduktion in Bewegung, in Arbeit verwandelt, daher die angestrengten Gliedmafsen verhältnismäfsig kühl bleiben, während die Blutwärme in Kopf, Brust und Nacken, welche keine Bewegung zu verrichten haben, als Wärme herausbricht [2]).

Wir haben in dem letzten Beispiele bereits eine andere Form

[1]) H. Helmholtz, l. c. Bd. II, S. 168.
[2]) Ausland 1867, S. 964.

arbeitsfähiger Naturkräfte angedeutet: die chemischen. Körpermassen, die räumlich getrennt sind, ziehen sich an, fallen zusammen und verwandeln die Fallkraft, welche nach ihrem Zusammenstofs verschwindet, in Wärme. Genau was bei dem mechanischen Zusammenstofs geschieht, erfolgt auch bei dem chemischen, nämlich eine Verbindung der getrennten Stoffe unter Wärmeentwicklung.

Alle chemischen Reaktionen sind von Wärmewirkungen begleitet; entweder wird Wärme frei, oder es wird Wärme gebunden. Ersterem Falle begegnen wir in der Regel, wenn einfachere Moleküle in zusammengesetztere übergehen, letzterem, wenn kompliziertere Verbindungen sich in einfachere zersetzen.

Am augenscheinlichsten tritt uns die Entwicklung von Wärme durch chemische Verbindung im Verbrennungsprozesse entgegen. Die Verbrennung der Kohle ist die chemische Vereinigung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoffe der Luft: eine Folge der chemischen Verwandtschaft beider. Vorausgesetzt wird hierbei, dafs vorher die kleinsten Teile beider Stoffe in engste Nachbarschaft zu einander gebracht sind. Wir können uns jenen Vorgang nicht anders denken, als dafs sich Kohlenstoff- und Sauerstoffatome auf einander losstürzen und sich verbinden, worauf die neugebildeten Kohlensäureteilchen in heftigster Molekularbewegung, d. h. Wärmebewegung erhalten werden. Ein Pfund Kohlenstoff, verbrannt mit Sauerstoff zu Kohlensäure, giebt so viel Wärme, als nötig ist, um 80,9 Pfund Wasser vom Gefrierpunkt bis zum Sieden zu erhitzen [1]). Ebenso wird die Wärme des menschlichen Körpers durch einen Oxydationsprozefs erzeugt. Der durch Speisen dem Blute zugeführte Kohlenstoff verbindet sich namentlich in den kapillaren Verzweigungen der Adern mit dem Sauerstoff der eingeatmeten Luft. So findet also im Körper eine förmliche Verbrennung statt.

Hingegen wird Wärme gefesselt, wenn es gelingt, eine chemische Verbindung aufzuheben. Es wird dadurch eine „chemische Differenz“ herbeigeführt, die nichts anderes ist als Kraft, jeden Augenblick auf der Lauer, sich in einer ihrer Proteusformen, sei es als Wärme, sei es als Bewegung zu äufsern. Die Pflanzen nehmen Kraft auf, wenn sie Licht empfangen, das ja nach der Undulationstheorie durch Schwingungen des Äthers entsteht. Diese Kraft verwandeln die Gewächse in „chemische Differenz“, indem sie die Kohlensäure der Luft in ihre Elemente, in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegen, um aus dem Kohlenstoff den eigenen Leib aufzubauen, den Sauerstoff aber der Luft wieder zurück zu erstatten. „Die Pflanzenwelt bildet also ein Reservoir,

[1]) H. Helmholtz, l. c. Bd. II, S. 169.

in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixiert und zur Nutzniefsung geschickt niedergelegt werden" [1]). Vor allem besitzen wir in unseren Kohlenflözen grofse, von den Pflanzen unter Beihilfe der Sonnenstrahlen gesammelte Kraftvorräte, Vorräte von Licht und Wärme, die, wie Stephenson sagte, in der Erde gleichsam in Flaschen abgezogen sind für Zehntausende von Jahren und nun wieder zu Tage gebracht werden, um menschliche Zwecke fördern zu helfen.

Noch zwei Kräfte haben wir anzuführen: Elektricität und Magnetismus. Wie auch diese mannigfacher Umwandlung fähig sind, zeigt das folgende Beispiel. Läfst man einen durch chemische Zersetzung des Zinks in der galvanischen Säule erzeugten elektrischen Strom durch einen dünnen Draht gehen, so erfährt der Strom in seiner Bewegung einen beträchtlichen Widerstand; ein Teil der Elektricität wird aufgehalten und scheinbar vernichtet. Dieser „vernichtete" Teil verwandelt sich in Wärme; der Draht wird glühend und schmilzt sogar unter Umständen. Hier sehen wir, wie durch einen chemischen Prozefs, die Zersetzung des Zinks, Elektricität, durch diese aber Wärme erzeugt wird. Führt man nun den eben erwähnten Leitungsdraht in schraubenförmigen Windungen um ein hufeisenförmiges Eisenstück, so wird dieses, sobald der elektrische Strom durch den Draht hindurchgeleitet wird, magnetische Zugkräfte, die es zuvor nie besafs, zu äufsern beginnen. Hier findet also eine sichtbare Umwandlung von Elektricität in magnetische Zugkraft statt, welche wiederum im stande ist, einem eisernen Körper eine Bewegung mitzuteilen. Der elektrische Strom kann auch in chemische Differenz zurückverwandelt werden. Zerschneiden wir nämlich den elektrischen Leitungsdraht und tauchen seine Enden in ein Gefäfs mit Wasser, so wird das Wasser, sobald der elektrische Strom cirkuliert, in seine einfachen Bestandteile, in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, d. h. es bildet sich eine chemische Differenz.

Aus unseren bisherigen Betrachtungen geht hervor, dafs es in Wahrheit nur eine einzige Kraft giebt, eine Kraft freilich, welche proteusartig ist und sich bald als Fallkraft, bald als Bewegung, Wärme, chemische Anziehung, Elektricität oder Magnetismus offenbart. Die Summe der (scheinbar verschiedenartigen) Kräfte, welche das Weltall beherrschen, ist immer gleich grofs. Zur Erläuterung fügen wir noch einen Vergleich hinzu, der zwar trivialer Natur ist, sich jedoch vorzüglich eignet zur Verdeutlichung des eben ausgesprochenen Gedankens. Die Summe sämtlicher Kräfte im Weltall möge verglichen

[1]) J. R. Mayer, Die Mechanik der Wärme. 2. Auflage. Stuttgart 1874. S. 54.

werden mit einem Geldwert von 1000 Mark. Die Münzsorten, welche diesen Wert repräsentieren, sollen ebenso verschiedener Art sein wie die Naturkräfte. Die mechanischen Kräfte mögen vertreten sein durch 400 Mark (in 20 Zwanzigmarkscheinen), die Wärmekräfte durch 400 Mark (in 40 Zehnmarkstücken), die chemischen Kräfte durch 100 Mark (in 100 Markstücken), die elektrischen durch 50 Mark (in 100 Fünfzigpfennigstücken), die magnetischen durch 50 Mark (in 250 Zwanzigpfennigstücken). Tauschen wir auch noch so oft die eine Art von Münzen in andere Münzsorten um, so ändern sich zwar die Wertzeichen; aber die Summe bleibt immer dieselbe. So beharrt auch in der Natur trotz unaufhörlicher Umsetzung der Kräfte deren Gesamtwert.

Wenn wir irgend eine körperliche Arbeit verrichten, so verbrauchen wir Muskelkraft. Diese entstammt der Blutwärme, welche wiederum hervorgeht aus der chemischen Verbindung des durch die Speisen zugeführten Kohlenstoffes und des durch die Luft eingeatmeten Sauerstoffes. Jene chemischen Kräfte sind aufgespeichert in dem Kohlenstoff der Nahrungsmittel. Da diese aber entweder in Pflanzen oder durch vegetabilische Kost genährten Tieren bestehen, die Pflanzen aber nur mit Hilfe der chemisch wirksamen Sonnenstrahlen sich entwickeln können, so ergiebt sich, daſs unsere ganze Existenz bedingt ist durch jenes Himmelslicht, das sich an jedem Tage über unsere Erde ergieſst. Doch wir sind auch noch in anderer Hinsicht von der Sonne abhängig. Wir verdanken ihr nicht bloſs die zu unserem Leben direkt notwendigen Sonnenkräfte (Licht und Wärme), sowie alle Nahrung; wir verdanken ihr auch die bewegenden Kräfte in der atmosphärischen und oceanischen Hülle, von denen unsere Erde umgeben ist; wir verdanken ihr sogar die mächtigen Kräfte, welche unsere Maschinen treiben, da die Kohle vegetabilischen Ursprungs ist. Auf Sonnenstrahlen fahren wir also dahin, wenn uns der Eisenbahnzug weiter trägt, freilich nicht auf den jetzt sichtbaren, sondern auf denen, die vielleicht vor Myriaden von Jahren unsere Erde beschienen und nun in den Kohlenvorräten aufbewahrt sind. Somit könnten auch wir sagen, obwohl in etwas anderem Sinne des Wortes, was einst die Incas von Peru von sich glaubten: Wir sind Kinder der Sonne.

Aus den zahlreichen oben angeführten Beispielen geht hervor, daſs in der Natur die Kräfte beständig in einander übergehen und nach mehr oder weniger Umsetzungen wieder ihre ursprüngliche Erscheinungsform annehmen. Es zeigt sich also gewissermaſsen ein Kreislauf der Kräfte. Doch warnen wir vor dem Ausdruck „Kreislauf." Bei allen Funktionen der mechanischen, chemischen, elektrischen und magnetischen Kräfte wird Wärme erzeugt; indes gelingt es niemals,

diese vollkommen in die erstgenannten Kräfte zurück zu verwandeln. So endet also sicher jener vermeintliche Kreislauf mit Wärmeerzeugung.

Was geschieht aber mit der Wärme? Die Wärme heifser Körper geht so lange durch Leitung und Strahlung auf weniger warme über, bis ein Temperaturgleichgewicht hergestellt ist. Sonne und Planeten werden also so lange Wärme ausstrahlen, bis die Temperatur ihrer Masse der des Weltäthers gleich ist. Ihre Wärme dient schliefslich nur dazu, die Temperatur des Weltäthers ein wenig zu erhöhen. Ist jene Temperaturausgleichung erfolgt, so ist keine Kraftäufserung der Wärme mehr möglich; denn eine solche setzt Wärmedifferenz voraus. Der Kosmos ist daher etwas Sterbliches, zeitlich Begrenztes; er geht seinem Ende, d. i. der Erschöpfung seiner Fülle an lebendigen Kräften unaufhaltsam entgegen.

Zum Beweise dafür, dafs hier allgemeine Wahrheiten, nicht individuelle Spekulationen vorgetragen werden, führen wir noch folgende Worte von Helmholtz[1]) an:

„Bei jeder Bewegung irdischer Körper geht durch Reibung oder Stofs ein Teil mechanischer Kraft in Wärme über, von der nur ein Teil wieder zurückverwandelt werden kann; dasselbe ist in der Regel bei jedem chemischen und elektrischen Prozesse der Fall. Daraus folgt also, dafs der erste Teil des Kraftvorrates, die unveränderliche Wärme, bei jedem Naturprozesse fortdauernd zunimmt, der zweite, der der mechanischen, elektrischen, chemischen Kräfte, fortdauernd abnimmt, und wenn das Weltall ungestört dem Ablaufe seiner physikalischen Prozesse überlassen wird, wird endlich aller Kraftvorrat in Wärme übergehen und alle Wärme in das Gleichgewicht der Temperatur kommen. Dann ist jede Möglichkeit einer weiteren Veränderung erschöpft; dann mufs vollständiger Stillstand aller Naturprozesse von jeder nur möglichen Art eintreten. Auch das Leben der Pflanzen, Menschen und Tiere kann natürlich nicht weiter bestehen, wenn die Sonne ihre höhere Temperatur und damit ihr Licht verloren hat. . . Das Weltall wird von da an zu ewiger Ruhe verurteilt sein."

Schon jetzt hat sich ein grofser Teil der ursprünglichen Sonnenkräfte im Weltraum verloren. Helmholtz[2]) hat berechnet, dafs, wenn das Sonnensystem nach der gegenwärtig herrschenden Hypothese jemals ein Gasnebel von aufserordentlicher Dünnheit war, zur Zeit nur noch $^1/_{454}$ des ursprünglichen Vorrats mechanischer Kraft vorhanden ist. Durch die Verdichtung der äufserst verdünnten kosmischen

[1]) l. c. Bd. II, S. 116 f.
[2]) l. c. Bd. II, S. 120. 134—136.

Materie zu dem jetzigen Sonnensystem mufste nach Helmholtz eine Wärme erzeugt werden, welche hinreichend wäre, eine der vereinigten Masse von Sonne und Planeten gleiche Wassermasse um nicht weniger als 28 Millionen Grade C. zu erhitzen.

Nach den sorgfältigen Messungen Pouillets liefert die Sonne in jeder Minute eine Wärmemenge, welche im stande wäre, 12650 Millionen Kubikmeilen Wasser um 1° C. zu erhöhen (nach Mayer 12650 „Grofs-Calorien") [1]). Eine Verbrennung der Sonnenmasse erweist sich auf die Dauer als unfähig, einen solchen Wärmereichtum zu entwickeln; selbst das beste Brennmaterial würde, wenn der zum Verbrennen nötige Sauerstoff zugeführt und zu gleicher Zeit eine gleiche Wärmemenge hervorgebracht werden könnte, wie sie gegenwärtig die Sonne liefert, nur während eines Zeitraumes von 4600 Jahren einen solchen Wärmeeffekt zu erzeugen vermögen. Dann aber müfste seit historischen Zeiten bereits eine merkliche Abnahme der Sonnenwärme oder des Sonnendurchmessers stattgefunden haben; bisher konnte jedoch weder das eine noch das andere nachgewiesen werden. Es ist nun die Frage, auf welchem Wege ein Ersatz für so ungeheure Wärmeverluste gewonnen wird.

Drei Hypothesen giebt es, welche uns den Ursprung der von der Sonne ausgestrahlten Wärmekräfte zu erklären versuchen.

Die erste, von Helmholtz aufgestellt, geht davon aus, dafs bei Verdichtung gasartiger oder flüssiger Massen eine Temperaturzunahme stattfindet. Wenn, wie dies die geringe Dichtigkeit der Sonne (spec. Gewicht 1,42) und andere Umstände andeuten, die Sonne noch einer weiteren Verdichtung fähig ist, so haben wir in der künftigen Annäherung ihrer Teile einen Wärmefonds, der wahrscheinlich grofs genug ist, die Bedürfnisse des Menschengeschlechts bis zum Ende seines Aufenthalts hienieden zu befriedigen. Eine solche Verdichtung ist im Grunde nichts anderes als ein Fallen der kleinsten Körperteilchen nach dem Centrum hin oder eine Wirkung der Gravitation. Es läfst sich berechnen, dafs eine Verdichtung, welche den Durchmesser der Sonne nur um den zehntausendsten Teil seiner jetzigen Gröfse verminderte, hinreichen würde, die in 2100 Jahren entäufserte Wärme wieder zu ersetzen [2]). Eine so geringe Veränderung des Sonnendurchmessers könnte nur durch die genauesten astronomischen Beobachtungen nachgewiesen werden. Würde die Sonne sich um das Vierfache, also bis zur specifischen Schwere der Erde verdichten, so würde der jetzige Ausstrahlungsbetrag noch auf 17 Millionen Jahre gedeckt sein.

[1]) J. R. Mayer, l. c. S. 164. 165.
[2]) Helmholtz, l. c. Bd. II, S. 131.

Nach einer zweiten Hypothese, deren Vertreter J. R. Mayer ist, werden die ungeheuren Wärmemengen, welche die Sonne liefert, durch das Einstürzen von Asteroiden und Meteoriten in die Sonnenmasse ersetzt. An solchen Körpern fehlt es nicht. Man hat berechnet, daſs die Erde auf jedem durchlaufenen Raum, der ihrer Körpergröſse entspricht, 13000 mit unbewaffnetem Auge sichtbaren Sternschnuppen begegnet. Selbst wenn man annimmt, daſs das Gewicht einer Sternschnuppe durchschnittlich nur 1/4 Gramm beträgt, so müſste der Sternschnuppenring, den die Erde im November schneidet, 560000 Centner wiegen [1]). Da Sternschnuppenfälle auf Erden auſserordentlich häufig sind, so ist die Annahme erlaubt, daſs zahlreiche Schwärme von Meteoriten in allen Teilen des Sonnensystems kreisen und daſs sich Sternschnuppenfälle auch auf anderen Himmelskörpern häufig ereignen, in gröſster Menge auf denen, welche die gröſste Masse haben, vor allem also auf der Sonne. Da nun die denkbar kleinste Geschwindigkeit eines auf die Sonne stürzenden kosmischen Körpers in der Sekunde 445750 Meter (oder 60 geographische Meilen), die gröſste 630400 Meter (oder 85 geographische Meilen) beträgt, so muſs sich nach einem derartigen Zusammenstoſse eine ungeheure Wärmemenge entwickeln; denn diese wächst wie das Quadrat der Geschwindigkeit, ist also 4-, 9- oder 16mal so groſs, wenn die Geschwindigkeit auf das 2-, 3- oder 4fache steigt. Eine Asteroidmasse erzeugt bei ihrem Sturze auf die Sonne 4000- bis 8000mal so viel Wärme, als eine gleich groſse Menge Steinkohlen durch Verbrennen liefert [2]).

Da die Sonne in jeder Minute 5,17 Quadrillionen Wärmeeinheiten [3]) (= 12650 Millionen Groſs-Calorien, vgl. S. 48) nach allen Richtungen hin aussendet, 1 Kilogramm Asteroidmasse aber beim Niedersturz auf die Sonnenoberfläche 24 bis 48 Millionen Wärmeeinheiten entwickelt, so muſs die Quantität der auf die Sonne herabfallenden kosmischen Materie in jeder Minute 100000 bis 200000 Billionen Kilogramme betragen, wenn die ausgestrahlten Sonnenkräfte vollständig wieder ersetzt werden sollen. Der Mond, der eine Masse von c. 90000 Trillionen Kilogrammen repräsentirt, vermöchte den Verbrauch der Sonnenkräfte 1 bis 2, die Masse der Erde hingegen 50 bis 100 Jahre lang zu decken [4]). Da die in einer Minute auf die Sonne stürzenden Aste-

[1]) Richard A. Proctor, Other Worlds than Ours. 4th ed. London 1878. p. 183. 191.

[2]) Mayer, l. c. S. 178—182.

[3]) Unter einer Wärmeeinheit verstehen wir diejenige Wärmemenge, durch welche ein Kilogramm Wasser um 1° C. erhöht wird.

[4]) Mayer, l. c. S. 193 f. Vgl. hierzu John Tyndall, Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung. Herausgeg. von H. Helmholtz und G. Wiedemann. 3. Aufl. Braunschweig 1875. S. 604 f.

roidmassen ein Gewicht von 100 000 bis 200 000 Billionen Kilogrammen erreichen müssen, so würde hieraus für einen Quadratmeter Sonnenoberfläche eine Massenzunahme von durchschnittlich 17 bis 34 Gramm per Minute folgen. Ein schwacher Regen auf Erden giebt in der Stunde etwa eine 1 Millimeter hohe Wasserschicht, was für einen Quadratmeter Oberfläche in einer Minute 17 Gramm ausmacht. Somit genügt ein sanfter Meteoritenregen, den Verbrauch von Sonnenkräften zu decken.

Die beständige Zufuhr kosmischer Massen würde in zweifacher Beziehung wichtige Veränderungen des Sonnenkörpers zur Folge haben: durch sie würde sowohl das Volumen, als auch das Gewicht der Sonne vermehrt werden. Die Zunahme des Volumens würde sich sicher menschlichen Blicken entziehen, da, wenn man das specifische Gewicht der kosmischen Massen dem der Sonne gleichsetzt, 28 500 bis 57 000 Jahre erforderlich wären, damit sich der scheinbare Sonnendurchmesser um eine einzige Bogensekunde vergröfserte. Dagegen müfste die Gewichtszunahme der Sonne eine merkbare Beschleunigung der Planetenbewegungen, d. h. eine Verkürzung ihrer Umlaufszeiten zur Folge haben, nämlich eine jährliche Verkürzung des siderischen Jahres um $^1/_{36}$ bis $^1/_{70}$ Millionenteil seiner Länge oder um $^7/_8$ bis $^1/_2$ Zeitsekunde. Da die Beobachtungen der Astronomen dies nicht bestätigen, so liegt hierin eine zur Zeit noch nicht zu beseitigende Schwierigkeit für diese Hypothese [1]).

Einen dritten Weg, die Erhaltung der Sonnenkräfte zu erklären, hat neuerdings C. William Siemens betreten. Die Grundgedanken seiner vor der Londoner Royal Society entwickelten Hypothese sind folgende [2]).

Der Weltraum ist nicht leer, sondern erfüllt mit einer äufserst dünnen, gasigen Materie, welche unter anderem aus Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff und den Verbindungen dieser Gase besteht, daneben aber auch feste Körper in Staubform enthält. Indem nun jeder Himmelskörper eine Anziehung auf diese Materie ausübt, bildet sich um ihn eine Atmosphäre, deren Hauptbestandteile offenbar die schwereren Gase, also Stickstoff, Sauerstoff und Kohlensäure sind, während die leichteren, nämlich Wasserstoff und seine Verbindungen, im wesentlichen im Weltraume verbleiben. Demnach ist jedes Glied des Sonnensystems mit seiner individuellen Atmosphäre versehen; gleich-

[1]) Mayer, l. c. S. 196. 197.

[2]) On the conservation of solar energy in Nature. Vol. XXV, Nr. 645 (9. March 1882), p. 440—444. Nr. 648 (30. March 1882), p. 504. 505. Nr. 652 (27. April 1882), p. 601—603. Vol. XXVI, Nr. 656 (25. May 1882), p. 80.

zeitig aber ist auch der ganze weite Raum des Sonnensystems von einer Atmosphäre durchdrungen und umgeben, welche natürlich weniger dicht ist als die der Planeten, aber viel dichter als die Materie im weiten Sternenraume.

Die Sonne dreht sich in ungefähr $25\frac{1}{4}$ Tagen einmal um ihre Achse. Da nun ihr Durchmesser $108\frac{1}{2}$mal so grofs ist als derjenige der Erde, so ist die Tangential- oder Fliehkraft am Sonnenäquator 4,3mal so grofs als am Erdäquator; demgemäfs findet hier ein mächtiger Auftrieb der Luft statt. Die Atmosphäre erhebt sich daselbst in viel höhere Regionen als anderwärts auf der Sonne und strömt hier in den Weltraum aus. Zum Ersatz dafür saugt der Sonnenkörper vermöge seiner Anziehungskraft an seinen polaren Regionen ungeheure Mengen von Wasserstoff, Kohlenwasserstoff und Sauerstoff auf. Dieselben werden bei ihrer Annäherung an die Sonne mehr und mehr verdichtet, gleichzeitig aber auch erhitzt (vgl. S. 48) und gehen schliefslich in Flammen auf. Nun strömen die Verbrennungsprodukte (Wasserdampf, Kohlensäure, Kohlenoxydgas) unter dem Einflufs der Fliehkraft nach dem Äquator hin, um von dort aus durch dieselbe Kraft in den Weltraum hinausgeschleudert zu werden.

Was geschieht nun hier mit diesen Produkten? Die entstandenen chemischen Verbindungen werden durch die Sonnenstrahlen wieder aufgehoben, die vermeintlich verloren gegangenen Sonnenkräfte somit in chemische Differenz verwandelt (s. S. 44), und die Materie des Weltraumes ist demnach stets befähigt, die Sonnenkräfte immer und immer wieder zu verjüngen.

Es ist hier nicht der Ort, auf die rein physikalischen Bedenken näher einzugehen, welche sich uns bei Betrachtung dieser zwar geistreichen, aber gewifs kühnen Hypothese aufdrängen. Nur bemerken wir, dafs, selbst wenn alle die gemachten Voraussetzungen richtig sein sollten, immerhin nicht alle Sonnenkräfte zur Sonne zurückkehren könnten. Dies wäre nämlich nur möglich, wenn das Sonnensystem von Schranken umschlossen wäre, welche die Sonnenkräfte niemals zu überschreiten vermöchten. Nun strahlt aber viel Sonnenlicht weit über die Grenzen des Sonnensystems hinaus und ist daher allezeit für dieses unrettbar verloren. Gleichzeitig entweicht notwendig ein Teil der Sonnenwärme aus der vermeintlichen Atmosphäre des Sonnensystems fortgesetzt in den weiten, eisig kalten Weltraum und ist damit gleichfalls für immer dem Machtbereich der Sonne entzogen. Es findet also stetig eine Kraftausgabe statt, welche durch keinen entsprechenden Kraftzuflufs ausgeglichen wird. Dieses fortgesetzte Deficit führt schliefslich zum völligen Verbrauch des Kräftekapitals, und somit gehen wir

auch auf diesem Wege einem einstmaligen Erlöschen der Sonnenkräfte unabwendbar entgegen.

Für das, was wir hier nachweisen wollen, nämlich ein einstmaliges Ende, einen Stillstand, eine Erstarrung in dem Bereich der Körperwelt, ist es nach alledem ohne Bedeutung, welche von den angeführten Hypothesen das Feld behaupten wird. Denn so viel ist gewiſs, daſs weder die Verdichtung, d. h. Selbstverzehrung der Sonne, noch die Meteormassen unerschöpfliche Kraftquellen bilden; ebenso wenig dürfte die Sonne einen vollkommenen Kraftregenerator nach Siemensscher Meinung darstellen. Die Sonnenkräfte nehmen also fortdauernd ab; versiegen sie aber einst, so ist das Los der Sonne und damit das unseres Planetensystems besiegelt.

Die Vergänglichkeit des letzteren läſst sich ferner durch folgende Thatsachen beweisen.

Der Umlauf der Planeten um die Sonne ist das Resultat zweier Kräfte: der senkrecht wirkenden Anziehungskraft der Sonne und der rechtwinklig gegen sie gerichteten Flug- oder Tangentialkraft der Planeten. Beide stehen in solchem Gleichgewicht und in solcher Harmonie, daſs die Umläufe immer in derselben kreisförmigen oder vielmehr elliptischen Bahn erfolgen müſsten. Das Erscheinen des Enckeschen Kometen hat jedoch einen Umstand aufgedeckt, der früher übersehen worden war. Die Bahn desselben verändert sich nämlich bei jedem Umlauf um die Sonne, indem sich der Komet derselben mehr und mehr nähert, wobei er seine Umlaufszeit jedesmal um $2^2/_3$ Stunden verkürzt. Nach den Untersuchungen v. Oppolzers gilt ähnliches auch von dem Winneckeschen Kometen. Diese Art der Bewegung entspricht ganz der in einem widerstehenden Mittel, welches die Tangentialkraft schwächt und so der Gravitation der Sonne ein Übergewicht verleiht. Die Annahme eines solchen widerstrebenden Mittels erweist sich um so vertrauenswürdiger, als für die beiden genannten Kometen eine fast vollständig gleiche Widerstandskraft desselben berechnet wurde [1]).

Übrigens geht die Existenz eines Weltäthers auch aus einer anderen, an den Kometenschweifen beobachteten Thatsache hervor. Diese sind nämlich häufig gekrümmt, und zwar ist die konvexe Wölbung stets nach derjenigen Seite gerichtet, nach welcher sich die Kometen bewegen; ihre Schweife werden also wahrscheinlich durch ein hemmendes Medium zurückgebogen. Besonders deutlich zeigte sich dies beim Donatischen Kometen (1858 und 1859), dessen Schweif überdies auf der konvexen Seite entschieden schärfer begrenzt

[1]) Astronomische Nachrichten. Bd. XCVII (1880), Nr. 2314, Sp. 149—154.

war als auf der konkaven, worin ebenfalls ein Hinweis auf ein widerstrebendes Mittel liegt. Dafs uns die Kometen jenes Medium zuerst verraten, darf uns nicht Wunder nehmen; sie gehören ja zu den zartest gebauten, man möchte fast sagen schattenhaftesten Wesen der Körperwelt (s. Abschn. Kometen).

Zur Annahme jenes Mediums zwingt uns überdies schon die Existenz des Lichtes, mag dasselbe nun nach der Emissionstheorie selbst materiell sein oder nach der Undulationslehre in den Schwingungen eines überall verbreiteten Äthers bestehen.

Ist ein solches Medium aber wirklich vorhanden, so werden jene Kometen fortfahren, sich der Sonne zu nähern und ihre Umlaufszeit zu verkürzen, und es wird endlich eine Zeit kommen, wo sie in die Sonne stürzen. Dieses Widerstand leistende Mittel bleibt jedoch auch nicht ohne Wirkung auf die Bewegungen der Planeten, obwohl an so massiven Körpern dieser hemmende Einflufs erst nach aufserordentlich langen Zeiträumen bemerkbar sein wird. Sicher ist jedoch, dafs diese in immer kleiner werdenden Bahnen die Sonne umkreisen. Wie lange auch die Dauer und wie grofs auch die Zahl ihrer Umläufe sein mag: einmal wird doch die Zeit kommen, wo die Monde in den Hauptplaneten, diese aber in der Sonne ihr Grab finden. Auch hier postuliert die moderne Wissenschaft ein Ende des Mechanismus, den wir das Sonnensystem nennen.

Speciell die Vergänglichkeit des organischen Lebens auf Erden läfst sich auch noch aus anderen Gründen erweisen: zunächst aus der Verzögerung der Erdrotation infolge Hemmung durch die Gezeiten.

Um eine solche Verzögerung zu erkennen, verfährt man im wesentlichen in folgender Weise. Man ermittelt zunächst möglichst genau den Zeitraum zwischen zwei weit auseinander gelegenen Sonnenfinsternissen und bestimmt hieraus das Verhältnis zwischen der Umdrehungszeit der Erde und der mittleren Umlaufszeit des Mondes. Vergleicht man die von den ältesten Astronomen hinterlassenen Beobachtungen mit denen der Gegenwart, so läfst sich die geringste Veränderung der absoluten Länge des Tages durch eine Änderung jenes Verhältnisses oder durch eine Störung des Mondlaufes wahrnehmen.

Laplace wollte nun aus den Beobachtungen Hipparchs (c. 150 v. Chr.) gefunden haben, dafs im Laufe von 2000 Jahren der Erdentag (= 86 400 Sekunden Sternzeit) sich nicht um $^1/_{500}$ einer Zeitsekunde verändert habe, dafs somit die Länge eines Erdentages in den historischen Zeiten als völlig konstant zu betrachten sei. Die Berechnung Laplaces hat sich indes als unrichtig erwiesen; denn die späteren sorgfältigen Untersuchungen von Adams haben zu dem

Ergebnis geführt, daſs der Erdentag 0,01197 Zeitsekunde länger ist als vor 2000 Jahren; seine Zunahme beträgt demnach in einem Jahre 0,000006 Sekunde und erst in 167000 Jahren 1 Sekunde. Auch die von Newcomb neuerdings gefundenen Abweichungen der Mondörter von den berechneten Mondstellungen sprechen im ganzen für eine geringe Verzögerung der Erdrotation seit den ältesten Zeiten [1]).

Wir kennen auch bereits die Ursache, welche dieser Verzögerung der Rotationsgeschwindigkeit zu Grunde liegt: es ist die gegen die Ostränder der Kontinente gerichtete Kraft der Gezeiten [2]). Wäre die Erde ein fester Körper ohne jegliche Wasserbedeckung, so könnten Mond und Sterne durch ihre Anziehungskraft keine Verzögerung der Erdumdrehung bewirken. Nun aber ist sie teilweise mit einer Hülle von verschiebbaren Teilen, den Oceanen, bedeckt, die durch Flut und Ebbe rhythmisch bewegt werden. Infolge des Einflusses der Mond- und Sonnenanziehung streben die oceanischen Gewässer gegen den Punkt oder Meridian hin, über und unter welchem der Mond kulminiert. Genau in dieser Weise würden sich die Gezeiten entwickeln, wenn die Wasserteile bei ihrer Bewegung keinerlei Widerstand zu überwinden hätten; unter diesen Verhältnissen würde auch keine Hemmung der Erdrotation stattfinden. Da jedoch die Wasserbewegung ansehnlichen Widerstand zu bewältigen hat, so tritt in Wirklichkeit die Flut erst $2^1/_2$ Stunden nach dem Durchgang des Mondes durch den Meridian ein. Somit ist der Wasserstand östlich des Meridians, durch den der Mond geht, stets höher als im Westen desselben, woraus sich notwendig ein Drängen und Flieſsen der oceanischen Wasser nach Westen ergiebt. Da der von ihnen ausgeübte Stoſs gegen die westlichen Wandungen der Oceane, d. h. gegen die Ostränder der Kontinente, der Richtung der Erdrotation gerade entgegengesetzt ist, so wird er unbedingt die lebendige Kraft dieser Bewegung hemmen. Mayer hat den Effekt dieses Stoſses theoretisch berechnet und gefunden, daſs er einer mechanischen Arbeit von 464000 Millionen Kilogramm-Metern in jeder Sekunde oder 6000 Millionen Pferdekräften gleich ist und daſs in der Zeit von 2500 Jahren die Tageslänge durch den Einfluſs von Flut und Ebbe um $^1/_{1\,400\,000}$ oder, den Tag zu

[1]) Nach S. Newcomb (Researches on the Motion of the Moon) in Nature. Vol. XIX, Nr. 478 (26. December 1878), p. 166 sq.

[2]) Schon Immanuel Kant hat im Jahre 1754 diesen Gedanken näher ausgeführt in einer gekrönten Preisschrift: „Untersuchung der Frage, welche von der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin zum Preise für das laufende Jahr aufgegeben worden: ob die Erde eine Veränderung ihrer Achsenlänge erlitten habe.“ Später wurde dieser Gegenstand von Mayer (1848), Ferrel (1853) und Delaunay (1865) eingehend erörtert.

86400 Sekunden berechnet, um $^1/_{16}$ Sekunde vergröfsert werden müfste, falls das Volumen der Erde ein unveränderliches wäre. Stimmt nun auch die von Mayer berechnete Zahl nicht mit der von Adams gefundenen überein, so dürfen wir doch deshalb an der Wahrheit der Thatsache nicht zweifeln. Abgesehen davon, dafs jene Berechnung Mayers nicht absolute Genauigkeit beansprucht, ist es auch gar nicht unwahrscheinlich, dafs der Erddurchmesser in Folge fortdauernder Abkühlung sich verkürzt hat und dafs somit die Kraft, welche die Drehungsgeschwindigkeit der Erde hemmt, durch die Effekte der Abkühlung teilweise neutralisiert wird[1]. Jedenfalls sind die Gezeiten hemmende Kräfte.

Vermindert sich aber die Rotationsgeschwindigkeit der Erde auch nur ein wenig, so genügt dies für unsere Beweisführung; denn aus der kleinsten Gröfse entsteht, wenn sie mit einer unendlichen multipliziert wird, — und die Zeit ist unendlich — der höchste Wert. Jene kleine Gröfse führt zuletzt in unserem Falle dahin, dafs die Erde einst — gleichwie der Mond nur eine Achsendrehung im Monat vollzieht — nur eine Achsendrehung im Jahre vollendet, dafs somit die eine Hälfte der Erde der Sonne immer zugewandt, die andere dagegen der Sonne beständig abgewandt bleibt. Stellt schliefslich die Erde ihre Achsendrehung völlig ein, so gestalten sich zwar die Verhältnisse etwas günstiger; aber sie sind immerhin noch unerquicklich genug; denn dann würde überall auf Erden, selbst in den Aequinoctialländern, der Tag 6 Monate und die Nacht ebenfalls 6 Monate dauern. Während die eine Erdhälfte ein halbes Jahr lang ununterbrochen den versengenden Sonnenstrahlen ausgesetzt wäre, welche die Meere in Dampf verwandelten, würde die andere Hälfte in eisige Nacht getaucht sein. Damit aber wäre das Ende alles organischen Lebens gekommen; wenigstens ist eine Accommodation desselben an die dann eintretenden Wärmeverhältnisse menschlichen Begriffen nach unmöglich.

Ferner bestimmen uns noch folgende Gründe dazu, die organische Belebung der Erde als eine zeitlich begrenzte anzusehen.

Die Existenz der Organismen ist nicht blofs an gewisse Temperaturverhältnisse, sondern auch an bestimmte Stoffe gebunden. Ob diese Stoffe aber auch fernerhin in der für das organische Leben allein erspriefslichen Form bestehen werden, mufs uns bei Betrachtung gewisser chemischer Vorgänge in der Natur als höchst fraglich erscheinen.

[1] Mayer (l. c. S. 239) hat berechnet, dafs eine Verlängerung des Sterntages um $^1/_{16}$ Sekunde innerhalb 2500 Jahren durch eine in gleicher Zeit erfolgende Verkleinerung des Erdhalbmessers um $4^1/_2$ Meter kompensiert werden könnte.

Noch enthält unsere Lufthülle ein genügendes Mafs von Kohlensäure. Wir wollen hier nicht erörtern, ob die Atmosphäre in früheren geologischen Zeitaltern reichlicher mit Kohlensäure geschwängert war als jetzt: nur das sei bemerkt, dafs die aufserordentlich üppige Entwicklung des Pflanzenlebens in früheren geologischen Perioden darauf hindeutet. Soviel ist jedoch sicher, dafs die dem Erdinnern entströmenden Kohlensäuremengen bei fortschreitender Abkühlung unseres Planeten allmählich abnehmen und einst versiegen müssen. Selbst vorausgesetzt, was schwerlich je der Fall sein könnte, dafs alle von der Vegetation verbrauchte Kohlensäure der Luft durch tierische Aushauchung wiedergegeben würde, so müfste doch eine Abnahme der Kohlensäure in der Atmosphäre eintreten. Dieselbe verliert nämlich nicht blofs durch die Absonderung von kohlensaurem Kalk in den Schalen und Skeletteilen unzähliger tierischer Organismen, wie der Rhizopoden, Korallen, Echinodermen, Schaltiere, Krebse und Wirbeltiere, sondern auch bei der Verwitterung der verschiedenartigsten Gesteine durch Bildung unlöslicher Carbonate unwiederbringlich so grofse Quantitäten von Kohlensäure, dafs dadurch die Zufuhr nach und nach beträchtlich geschmälert wird [1].

Ebenso ist eine stetige Abnahme des Sauerstoffes in der Luft infolge der Oxydation vieler Mineralien, namentlich des Eisenoxyduls, zu befürchten.

Somit ist vorauszusehen, dafs Kohlensäure und Sauerstoff in der Atmosphäre allmählich aufgezehrt werden; damit aber wäre dem organischen Leben auf Erden das Todesurteil gesprochen.

Zu gleichem Resultate führt uns die Betrachtung über die Verbreitung des Wassers und die chemischen Verbindungen, welche dasselbe eingeht. Seine Gesamtmasse nimmt allmählich ab und zwar weniger durch die Organismen, da diese ihren Wassergehalt nur selten in unlöslicher Form binden, ihn vielmehr bei ihrem Tode meist wieder abgeben, sondern durch Absorption und Verwitterung der Gesteine. Selbst die dichtesten derselben, wie Granit, Gneis, Porphyr, Basalt, Achat, Opal, saugen das Wasser auf, und wenn einstmals die Erde in ihrem Innern erkaltet ist, wird dasselbe, dem Zug der Schwere folgend, in die Poren und Höhlungen des Erdinnern hinabsteigen und somit von der Erdoberfläche gänzlich verschwinden. Ebenso vermindert sich das Wasser, wenn auch sehr langsam, so doch unausgesetzt durch die Bildung von Hydraten beim Verwitterungsprozefs der Gesteine; denn es wird hierbei chemisch gebunden.

Man hat berechnet, dafs $^1/_{17}$ der ursprünglichen Wassermenge

[1] Karl A. Zittel, Aus der Urzeit. München 1875. S. 13. 14.

der Erde auf diese Weise bereits gebunden ist. Ohne Zweifel wird sich dieser Prozefs unaufhaltsam weiter vollziehen und einst — wenn auch nach sehr langen Zeiträumen — eine Vernichtung der organischen Welt herbeiführen. Auf dem wasserlosen Monde ist jene Hydratbildung bereits vollendet; auf der hocherhitzten Sonnenoberfläche hingegen hat sie noch nicht begonnen.

So eröffnet sich im Hinblick auf die besprochenen Verhältnisse für unseren Planeten eine wenig erfreuliche Perspektive. Das Ringen der Naturkräfte auf demselben wird einst ein Ende erreichen; alles Leben wird dann aufgezehrt sein; Erstarrung, Tod wird die Erde beherrschen. Und nicht blofs unsere Erde, sondern das ganze Sonnensystem ist eine Uhr, die abläuft. Im Sinne der mechanischen Wärmetheorie heifst jenes Ende soviel als Erlöschen der lebendigen Kraft, Umwandlung derselben in Wärme, Zusammensturz aller planetarischen Massen auf der Sonnenoberfläche mit dem letzten Effekt einer kleinen Temperaturerhöhung des Weltäthers.

Es durchdringen uns eigentümliche Schauer, wenn wir daran denken, dafs dereinst alle die wundervollen Gebilde der leblosen und der lebendigen Natur, sowie die herrlichsten Blüten des menschlichen Geistes untergehen müssen in Nacht und Tod. Es klingt dies wie ein frivoles Todesurteil über die Schöpfung, und doch ist es nur der Ausdruck einer wissenschaftlich unumstöfslichen Wahrheit. Secchi[1]) äufsert mit Bezug auf die einstige Erstarrung des Sonnenkörpers, dafs solche Zustände nur periodisch sein dürften und dafs auch hier dem eisigen Hauche des Winters ein fröhliches Erwachen folge zu neuem Leben. „Vielleicht bedarf es nur“ — fährt Secchi fort — „des Eintretens eines aufsergewöhnlichen Phänomens, z. B. des Zusammentreffens mit einem der Tausende von Nebelhaufen, welche in höchster Gluthitze den Weltenraum durchlaufen, um das erstarrte System wieder zu entflammen und in den gasigen Zustand zurückzuversetzen, aus welchem es sich im Laufe der Zeiten zum organischen Leben entwickelt hatte. Haben wir doch am 12. Mai 1866 im Sternbilde der nördlichen Krone das plötzliche Aufflammen eines Sternes 10. bis 11. Gröfse bis zum Glanze 2. Gröfse direkt beobachten können, und von manchen ähnlichen Erscheinungen berichten die Annalen der Astronomie.“

Wir wollen hier nicht untersuchen, in wie weit derartigen Annahmen eine Berechtigung zugestanden werden kann oder nicht; nur das eine sei uns auszusprechen gestattet, dafs hierdurch das Weltende zwar bis in undenkbare Fernen hinausgerückt, aber nicht aufgehoben

[1]) Die Sonne. Übersetzt von H. Schellen. Braunschweig 1872. S. 609.

wird. Der Glaube an einen einstigen Weltuntergang, dem das Volksbewufstsein huldigt und welchem auch die Heilige Schrift vielfach Ausdruck verleiht, erhält unzweifelhaft durch die Resultate der modernen Wissenschaft eine Stütze.

Wer einer materialistischen Weltanschauung huldigt, der mag vielleicht den Kopf schütteln über solch eine Welt, die unaufhaltsam ihrem Ende entgegeneilt, und mit Mephistopheles im Faust ausrufen:

> Alles, was entsteht,
> Ist wert, dafs es zu Grunde geht;
> D'rum besser wär's, dafs nichts entstünde.

Wer jedoch an eine Welt des Geistes glaubt, die sich auf Erden wohl in den Schranken des Körperlichen bewegt, aber durchaus nicht mit demselben steht und fällt, dem wird die Lösung des grofsen Rätsels der Weltbestimmung zwar ebenfalls unmöglich sein; die Bestimmung des Menschen hingegen wird ihm um so klarer vorschweben. Er wird sich sagen: Wenn dereinst die Erde das liebliche Gewand, in welches sie sich jetzt noch hüllt, abgelegt hat und eine leblose Schlacke geworden ist, dann hat sie, soweit wir es zu beurteilen vermögen, wenigstens dem herrlichen Zwecke gedient, eine Entwicklungsstätte zu sein für Geister, deren Leben ein ewiges ist. Wo dieses Leben stattfindet, das ist und bleibt uns Staubgeborenen verhüllt, so lange wir uns hier auf dem grofsen Schauplatz der Vergänglichkeit bewegen. Aber die Thatsache desselben steht uns ebenso fest, als es neben der sinnlichen Welt noch eine Welt des Geistes giebt, die nicht wie jene ein Trümmerhaufen werden kann. In diesem Sinne stimmen wir mit vollem Herzen den Worten bei, welche Secchi den oben angeführten unmittelbar folgen läfst: „Die wahre Wissenschaft wie die wahre Philosophie giebt uns stets mehr, als sie uns nimmt, und wenn wir von Welten sprechen, deren Herzschlag einst stille stehen wird, so zeigt sie uns zugleich, dafs die Kräfte, welche ihnen alle ihre Lebens- und Entwicklungsfähigkeit gegeben haben, nicht in das Nichts zurückgeführt werden können. In der Natur kann nichts verloren gehen, und aus dem Tode mufs überall neues Leben erwachsen."

Ebenso wie wir ein Ende fordern, postulieren wir einen Anfang. Für das organische Leben ist derselbe leicht nachzuweisen, da dasselbe an Temperaturen zwischen dem Gefrier- und Siedepunkte gebunden ist. War also die Erde jemals ein glühender Ball, dann hat das organische Leben erst bei beträchtlich vorgeschrittener Erkaltung einen Anfang genommen. Und selbst wenn die Erde einst aus Stoffen hervorgegangen sein sollte, welche ursprünglich niedrige Temperaturen

besafsen, so mufste sich immer erst der Erdkörper bilden, ehe sich das organische Leben auf seiner Oberfläche entfalten konnte.

Aber wir dürfen noch weiter gehen und auch für die Körperwelt überhaupt einen Anfang annehmen. Adolf Fick in Würzburg hat darüber geäufsert[1]: „Der finale Zustand (nämlich das Verschwinden der lebendigen Kraft, d. i. der Tod) ist einer ewigen Fortdauer fähig, würde aber nach Verflufs einer endlichen Zeit nahezu erreicht werden, von jedem beliebig gewählten Anfangszustande an gerechnet, der nicht unendliche Geschwindigkeiten oder unendliche Zerstreuung der Materie im Raume einschliefst, d. h. von jedem Anfangszustande an gerechnet, der überhaupt gedacht werden kann. Es müfste also umgekehrt der finale Zustand jetzt schon erreicht sein, wenn die Welt von Ewigkeit her da wäre. Wir sehen uns somit vor folgende bedeutsame Alternative gestellt: entweder sind bei den höchsten allgemeinsten und fundamentalsten Abstraktionen der Naturwissenschaft wesentliche Punkte übersehen oder — wenn diese Abstraktionen vollkommen streng und allgemein gültig sind — dann kann die Welt nicht von Ewigkeit her da sein, sondern sie mufs in einem von heute nicht unendlich entfernten Zeitpunkte durch ein in der Kette des natürlichen Causalnexus nicht begriffenes Ereignis, d. h. durch einen Schöpfungsakt entstanden sein."

Wir haben in dem vorhergehenden für die Körperwelt Anfang und Ende nachzuweisen gesucht. Nun könnte man uns einwenden: Die Kräfte mögen eine zeitliche Begrenzung erleiden; doch gilt dies nicht von den Stoffen, die unzerstörbar sind. Es ist hierauf zu erwidern: Wir können uns nicht anders denken, als dafs mit der Mannigfaltigkeit der Stoffe auch die der ihnen innewohnenden Kräfte unmittelbar gegeben war, und müssen demnach für die Existenz des Stoffes genau denselben Anfang fordern wie für die Kräfte. Sind die letzteren, wie oben gezeigt wurde, erst in der Zeit in Aktion getreten, so können wir auch den Stoffen keinen ewigen Bestand zuschreiben. Überdies sind wir hier, wo wir von Stoffen reden, bereits an der Grenze unseres Erkennens angelangt; denn es sind uns nicht blofs die Eigentümlichkeiten ihres Wesens verhüllt, sondern es fehlt uns auch jeder sinnliche Beweis dafür, dafs es überhaupt Stoffe giebt. Sinnliche Erfahrungen besitzen wir nur von den Kräften. Wenn wir sehen oder fühlen, so kommen uns die Erregungen der Seh- oder Gefühlsnerven zum Bewufstsein, also Kräfte, aber niemals Stoffe. Wir sagen: Der Baum ist grün, dürften aber eigentlich nur sprechen:

[1]) A. Fick, Die Naturkräfte in ihrer Wechselbeziehung. 6 Vorträge. Würzburg 1869. S. 70.

Der Baum reflektiert grünes Licht. Welche Farbe, welche Beschaffenheit er in Wirklichkeit hat, können wir gar nicht beurteilen. Das „Ding an sich“, wie Kant es nennt, bleibt unserer Erkenntnis stets verborgen. Die Annahme von Stoffen hat demnach nur einen hypothetischen Wert; die Stoffe sind Hieroglyphen, mit deren Hilfe wir uns über die Erscheinungen in der Natur verständigen.

Ist es uns in dem vorhergehenden gelungen, den Nachweis einer zeitlichen Begrenzung der Körperwelt zu führen, so werden wir die Gegenstände der Erdkunde nun mit ganz anderen Augen betrachten. Wir werden uns vor der irrigen Anschauung hüten, daſs die Erdkunde es nur mit dem Beharrlichen, dem Starren, dem mathematisch Fixierten zu thun hätte. Wir werden vielmehr immer bedenken, daſs in Wahrheit alles veränderlich und vergänglich ist, daſs überall ein Entfalten stattfindet, ein Fortschreiten zu Zuständen, die andere frühere Zustände voraussetzen, schlieſslich aber ein Altern und Vergehen.

III. Die Sonne.

Haben wir uns in dem vorhergehenden im weiten Universum orientiert und ihm räumliche wie zeitliche Schranken zuerkannt, so wenden wir uns nun der Betrachtung desjenigen Gestirnes zu, das nicht bloſs als Centralkörper unseres Weltsystems von der höchsten Bedeutung ist, sondern noch viel mehr als die Quelle der Licht- und Wärmekräfte, welche sich, einem Strome gleich, alltäglich über die Erde ausbreiten und das Getriebe irdischer Thätigkeiten unausgesetzt in Bewegung erhalten. Dieses Gestirn ist die Sonne.

Bis zur Erfindung des Spectroskops waren unsere Kenntnisse über die physischen Zustände der Sonne auſserordentlich gering; mit Hilfe dieses Instrumentes aber, das unser Auge — wenn wir so sagen dürfen — befähigt, chemisch zu sehen, haben wir in den letzten Jahrzehnten wichtige Aufschlüsse über das Wesen ferner Himmelskörper und auch der Sonne erhalten.

Secchis Untersuchungen [1]) haben ergeben, daſs sich die Spectra der Fixsterne auf drei Haupttypen zurückführen lassen (ein vierter Typus, den nur sehr wenige kleine, fast blutrote Sterne bilden, kann bei den nachfolgenden Betrachtungen ausgeschlossen bleiben).

Die dem ersten Typus angehörenden Fixsterne, wie Sirius, Wega, Altair, Regulus, Rigel, die Sterne des Groſsen Bären (auſser α) u. a., haben ein weiſses Licht mit mehr oder weniger bläulicher Färbung. Neben zahlreichen feinen Absorptionslinien enthält ihr Spectrum — und das ist das Charakteristische an demselben — meist vier starke Streifen und zwar diejenigen, welche das Spectrum des irdischen Wasserstoffgases zeigt, wenn man es in einer Geiſslerschen Röhre einer hohen Temperatur aussetzt.

Der zweite Typus umfaſst diejenigen Sterne, deren Licht

[1]) A. Secchi, Le Stelle. Milano 1877. p. 85 sq. A. Secchi, Die Sonne. Übersetzt von H. Schellen. Braunschweig 1872. S. 769 ff.

einen gelblichen Grundton hat, wie Capella, Pollux, Arcturus, Aldebaran u. a. Ihr Spectrum gleicht vollkommen dem unserer Sonne; denn es ist von aufserordentlich vielen, aber feinen Absorptionslinien durchzogen, welche hinsichtlich ihrer Lage genau denjenigen des Sonnenspectrums entsprechen. Demnach haben die Sterne des zweiten Typus dieselbe stoffliche Zusammensetzung und sonstige physische Beschaffenheit wie unsere Sonne.

Die Sterne des dritten Typus besitzen ein weniger lebhaftes, mehr ins Rötliche spielendes Licht. Vertreter dieses Typus sind α Herculis, β Pegasi, α Orionis u. a. Das Spectrum derselben besteht aus verwaschenen Streifen, sowie dunklen und hellen Linien, welche zu breiten Bändern vereinigt sind. Es ist also demjenigen ähnlich, welches die Sonnenflecken geben, woraus wir schliefsen dürfen, dafs die Sterne des dritten Typus ihre charakteristischen Streifen einer ähnlichen Absorptionswirkung verdanken, wie sie von den Wolken über den Sonnenflecken ausgeübt wird.

Zu dem ersten Typus gehört etwa die Hälfte der bis jetzt untersuchten Sterne; zwei Drittel der anderen Hälfte sind zu den gelben Sternen des zweiten Typus zu rechnen; die übrigen zählen zu dem dritten Typus, nämlich zu den rötlichen Sternen, den „channelled spaced stars“ der Engländer.

Ohne Zweifel gründet sich jene typische Verschiedenheit der Spectra auf gewisse Gegensätze, welche die physischen Zustände der Fixsterne darbieten. Da den Sternen des ersten Typus das intensivste Licht zukommt, so dürfen wir ihnen auch die höchsten Temperaturen zuschreiben. Diese aber entwickeln mehr zerstreuende („dissociating“), d. h. atom-trennende Kräfte als geringere Wärmegrade. Bei den höchsten Temperaturen werden sich daher nicht, wie auf Erden, nahezu 70 Elemente individualisieren, sondern nur wenige und zwar nach Lockyers Beobachtungen nur diejenigen, deren Atomgewicht ein sehr geringes ist. Somit werden auch nur wenige (unter ihnen vor allem Wasserstoff) spectroskopisch sichtbar.

Die Sterne der zweiten Gruppe besitzen noch genug Weifsglühhitze, chemische Verbindungen zu verhindern; doch ist bei ihnen die Zahl der dämpfebildenden Elemente bereits gröfser, und deshalb finden sich mehr Absorptionslinien in ihrem Spectrum. Die Wasserstofflinien treten weniger hervor; aufserordentlich zahlreich sind feine, metallische Linien.

Die Sterne der dritten Gruppe hingegen müssen bereits dem Abkühlungsprozefs verfallen sein, da jene Bänder auf eine starke Verdichtung der Atmosphäre, auf die Bildung metalloidischer Dämpfe

und chemischer Verbindungen hinweisen, also auf Umstände, die sich nur durch ansehnliche Temperaturabnahme erklären lassen [1]).

Erwägen wir nun, daſs die Sonne nicht dem ersten, sondern dem mittleren jener drei Typen angehört, so liegt die Vermutung nahe, daſs sie bereits über das Jugendalter ihrer Entwicklung hinaus ist, daſs die Sonne in einer früheren Epoche stärker erhitzt war, daſs sie ehemals etwa dieselbe physische Konstitution besaſs wie Sirius, somit ein weiſses oder bläuliches Licht aussandte, d. h. ein Licht, dessen Strahlen an dem blauen Ende des Spectrums kräftiger wirkten als gegenwärtig. Auch sind wir zu der Annahme berechtigt, daſs die Strahlen an dem blauen Ende sich in Zukunft immer weniger wirksam erweisen und daſs die Sonne endlich einmal die Merkmale jener Sterne annimmt, welche zu dem dritten Typus zählen.

Dafür, daſs die Sonne wirklich altert, haben wir noch ein anderes beweiskräftiges Zeugnis: dies sind die Sonnenflecken. Wir gehen in dem Folgenden näher auf dieses Phänomen ein, wobei wir zugleich Gelegenheit finden werden, die physischen Zustände auf der Sonnenoberfläche zu besprechen.

Schon im Altertum und noch häufiger im Mittelalter wurden dunkle Flecken an der Sonnenoberfläche beobachtet, und da dies unter gewissen Verhältnissen ohne Fernrohr recht wohl möglich ist, so haben wir keinen Grund, an der Wahrheit der betreffenden Berichte zu zweifeln. Sicherlich haben schon die sternkundigen Chaldäer vor mehr als 4000 Jahren Sonnenflecken wahrgenommen [2]), und vielleicht sind diese auch im alten Griechenland nicht unbemerkt geblieben. Anaxagoras (geb. 499 v. Chr.) wurde von den demagogischen Frömmlern Athens als Gottesleugner verklagt und in den Kerker geworfen, weil er die göttlich verehrte Sonne mit einem glühenden Meteorstein verglichen hatte [3]). Es ist nicht ganz unmöglich, daſs er durch die Wahrnehmung von dunklen Stellen auf der Sonnenscheibe zu dieser Überzeugung gelangt war; einer Sonne mit Flecken aber konnte die Würde einer Gottheit nicht verbleiben. Ebenso war den Incas von Peru, welche die Sonne als einen Gott und zugleich als den Ahnherrn ihres Hauses priesen, zur Zeit der spanischen Invasion die Göttlichkeit ihres Ascendenten zweifelhaft geworden, und wahrscheinlich hatte dies unter

[1]) Vgl. J. Norman Lockyer über „Celestial Chemistry“ in Nature. Vol. IX, Nr. 231 (2. April 1874), p. 430 sq. und M. Wurtz (Eröffnungsrede, gehalten bei der Zusammenkunft der französ. Association in Lille am 20. Aug. 1874) in Nature. Vol. X, Nr. 252 (27. Aug. 1874), p. 350.

[2]) Nach Sayce in Nature. Vol. XX, Nr. 502 (12. June 1879), p. 161.

[3]) Plutarch, Nikias, Kap. 23.

anderem auch darin seinen Grund, daſs ihnen die Sonne nicht in ungetrübter Reinheit erschien [1]).

Reichlich flieſsen die Nachrichten über Sonnenfleckenbeobachtungen aus der chinesischen Litteratur. Fand doch John Williams [2]) in der berühmten „Wan Hin Tung Kao“ betitelten Encyklopädie des Ma Twa Lin (veröffentlicht 1322) eine Liste von 45 Sonnenflecken, welche vom Jahre 301 bis zum Jahre 1205 mit bloſsem Auge erkannt worden sind! Eine zweite Liste, die mit der erwähnten nur teilweise übereinstimmt, hat Hosie [3]) aus einer anderen chinesischen Encyklopädie zusammengestellt. Sie umfaſst den Zeitraum von 28 v. Chr. bis 1617 n. Chr. und enthält 56 Beobachtungen von Sonnenflecken und auſserdem 10 von „Sonnenschatten“ (?).

Die älteste Notiz, welche über die Wahrnehmung eines Sonnenfleckens auf europäischem Boden berichtet, stammt aus dem Zeitalter Karls des Groſsen. Nach Adelmus wurde am 15. März 807 ein Fleck vor der Sonnenscheibe gesehen und konnte acht Tage lang beobachtet werden. Ferner hat man in den Jahren 840, 1096, 1161, 1590, 1609 und 1612 Sonnenflecken in dem mittleren Europa mit bloſsem Auge wahrgenommen. Die ersten Abhandlungen über diesen Gegenstand veröffentlichten kurz nach der Erfindung des Fernrohres Johann Fabricius [4]) (1611), Scheiner [5]) und Galilei [6]) (1612), angeregt durch die groſsartigen Fleckenerscheinungen jener Jahre. Immerhin konnte damals Jean Tarde [7]), Canonicus von Sarlat, noch nicht an die Möglichkeit glauben, daſs die Sonne, das Auge der Welt, die Ophthalmie haben könne. Er hielt jene Flecken für kleine Planeten und nannte sie Sidera Borbonia, während ihnen ein belgischer Jesuit, Malapert, den Namen Sidera Austriaca beilegte [8]).

Lange Zeit blieben die Sonnenflecken unerklärbar; sie erschienen als geisterhafte Schatten, welche über die Sonnenscheibe hinweg schwebten, und so versuchte noch im vorigen Jahrhundert Rev. Tobias Swinden in einer Schrift, die sogar ins Französische und

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 408. Rudolf Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877. S. 178.

[2]) Monthly Notices of the R. Astronomical Society. Vol. XXXIII (1873), Nr. 6.

[3]) Nature. Vol. XX, Nr. 501 (5. June 1879), p. 131 sq.

[4]) Narratio de maculis in Sole observatis et apparente earum cum Sole conversione. Witebergae 1611.

[5]) Drei Briefe an den Augsburger Patricier M. Welser, 1612.

[6]) Epistola ad M. Velserum de maculis solaribus. Florentiae 1612. Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari. Romae 1613.

[7]) Les astres de Borbon et apologie pour le Soleil. Paris 1623. Die lateinische Ausgabe erschien 1620.

[8]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 383.

Deutsche übersetzt wurde, den Beweis zu liefern, daſs die Sonne die Hölle sei und ihre Flecken nichts anderes als Zusammenrottungen der schwarzen Seelen der Verdammten [1]).

Die Sonnenflecken sind zunächst insofern wichtig geworden, als sie uns gelehrt haben, daſs die Sonne eine Rotation besitzt und in welcher Zeit sie dieselbe vollendet.

Die Flecken werden im allgemeinen zuerst am östlichen Rande der Sonne sichtbar, ziehen, meist ohne ihren Abstand vom Sonnenäquator wesentlich zu verändern, über die Sonnenscheibe und verschwinden wieder am westlichen Rande derselben. Eine groſse Anzahl fristet nur ein kurzes Dasein. Einige werden gebildet und vergehen, ehe sie noch einen einzigen Weg über die Scheibe vollendet haben; solche sind meist klein und unbedeutend. Häufig machen sie eine oder zwei Revolutionen und werden bei ihrem Wiedererscheinen erkannt an ihrer Entfernung vom Äquator, ihrer Stellung zu einander, ihrer Gröſse oder irgend welcher Eigentümlichkeit; auch der Zeitraum zwischen ihrem Verschwinden an dem einen Rand und Wiederauftauchen an dem anderen gewährt uns ein Mittel zur Beurteilung ihrer Identität. Selten wurde eine gröſsere Anzahl von Revolutionen beobachtet. Der groſse Fleck von 1779 war (natürlich mit Intervallen) ein halbes Jahr lang sichtbar, und Schwabe sah im Jahre 1840 eine und dieselbe Fleckengruppe 8mal wiederkehren [2]).

Der Riesenball der Sonne, dessen Durchmesser $108\frac{1}{2}$ mal so groſs ist als der unseres Planeten und dessen Rauminhalt den der Erde um das 1 277 289 fache übertrifft, vollendet nach den höchst sorgfältig angestellten Beobachtungen Spörers eine Umdrehung um seine Achse in 25 Tagen 5 Stunden 38 Minuten; dabei bildet der Sonnenäquator mit der Ekliptik einen Winkel von $6^{\circ}\ 57'$.

Bei der Ermittelung der Rotationszeit ist es sehr störend, daſs die Geschwindigkeit der Flecken nicht genau der Rotation des Sonnenkörpers entspricht, sondern daſs sie nebenbei noch eine eigene Bewegung haben, die bald gröſser, bald kleiner ist. Namentlich hat sich ergeben, daſs die dem Sonnenäquator näheren Flecken eine kürzere Rotationsdauer anzeigen als die entfernteren. Die über 29 Jahre (1854—1882) ausgedehnten Untersuchungen Spörers führten zu dem Resultat, daſs die in höheren Breiten der Sonnenkugel (zwischen dem 20. und 40. Grad) liegenden Flecken polwärts vorrücken, während sie sich gleichzeitig mit dem Sonnenkörper um dessen Achse bewegen. Zwischen dem 10. und 20. Parallelkreise streben fast gleich viele Flecken

[1]) E. B. Tylor, Die Anfänge der Kultur. Leipzig 1873. Bd. II, S. 69 f.

[2]) Sir John F. W. Herschel, Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. § 394, p. 252.

polwärts wie gegen den Äquator hin; dagegen strömen dieselben zwischen dem 5. und 10. Parallelkreise vorherrschend dem Äquator zu[1].

Seit dem Jahre 1826 hat sich Schwabe in Dessau auf das sorgfältigste mit der Beobachtung der Flecken beschäftigt. An jedem Tage, an welchem die Sonne sichtbar war, zählte er die Flecken und Trübungen auf ihrer Scheibe. Dabei erkannte er, dafs die Sonnenoberfläche in etwa 10 Jahren durch einen vollständigen Cyklus von Veränderungen hindurchgeht, von einem Stadium reichster Fülle der Sonnenflecken zu einem Stadium fast gänzlichen Mangels derselben und zurück zum Maximum davon. Rudolf Wolf aber hat nachgewiesen[2]), dafs auch in den zwei Jahrhunderten zwischen Johann Fabricius (1611, vgl. S. 64) und Schwabe eine periodische Zu- und Abnahme der Sonnenflecken stattgefunden habe, dafs aber die Periode nicht einen Zeitraum von 10, sondern von 11 1/9 Jahren umfasse[3]). Übrigens sind die einzelnen Perioden nicht von genau derselben Länge; auch hat sich gezeigt, dafs die Zeit von einem Minimum bis zum nächsten Maximum regelmäfsig kleiner ist als von diesem Maximum bis zum nächsten Minimum. Ferner erfolgt die Ab- und Zunahme der Fleckenmenge nicht gleichmäfsig, sondern es bilden sich vorübergehend gewissermafsen Wellen gesteigerter Fleckenzahl.

Bemerkenswert ist noch, dafs die höchste Frequenz der Sonnenflecken immer gleichzeitig eintritt mit der höchsten Frequenz der kleinen Kometen (s. Abschn. Kometen), der Nordlichter, der Cirruswolken und der magnetischen Störungen. Ohnehin folgt die Stellung der Magnetnadel dem Gange der Sonne bei ihrem Tages- und Nachtbogen; die täglichen Schwankungen aber sind stets gröfser, wenn die Sonnenscheibe befleckt, als wenn sie rein ist. Die Veränderungen in dem physischen Zustande der Sonne finden also ihr Echo in den Bewegungen unserer Magnetnadeln[4]). Auch die Ab- und Zunahme des mittleren Luftdruckes, der Lufttemperatur und des Regenfalls, welche im Verlauf längerer Zeiträume zu bemerken ist, wurde vielfach zur Sonnenfleckenperiode in Beziehung gebracht; demgemäfs mufsten ferner die Wasserstände der Flüsse, die Spiegelschwankungen der Seen, der Ertrag der Feldfrüchte, die Höhe der Getreidepreise, die Wiederkehr der Handelskrisen, die Heuschreckenmenge u. a. von der Sonnenfleckenperiode abhängig sein. Indes ist die Harmonie zwischen den

[1]) Astronomische Nachrichten. Bd. CV (1883), Nr. 2507, Sp. 169—174.

[2]) Neue Untersuchungen über die Periode der Sonnenflecken. Bern 1852.

[3]) Nach einer neueren Berechnung Wolfs ist der obige Wert für die mittlere Sonnenfleckenperiode, 11 1/9 oder 11,111 Jahre, auf 11,132 Jahre zu erhöhen. Astronomische Nachrichten. Bd. C (1881), Nr. 2388, Sp. 191 u. 192.

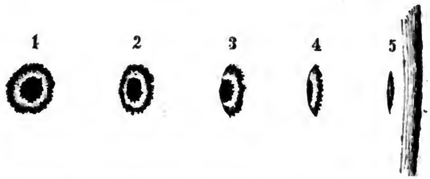
[4]) Näheres hierüber enthält der Abschnitt über Erdmagnetismus.

letztgenannten Erscheinungen und der Frequenz der Sonnenflecken vielfach eine so geringe, dafs man mit Recht der ursächlichen Verknüpfung beider mit kritischem Zweifel begegnet, zumal die Resultate zahlreicher hierher gehöriger Arbeiten sich vollständig widersprechen [1]).

Die meisten Sonnenflecken bestehen aus einem schwarzen Kern (Umbra) und einem ihn allseitig umgebenden Halbschatten, der Penumbra. Kernfleck sowohl wie Penumbra zeigen fast immer scharfe, eingerissen eckige, durch einspringende Winkel charakterisierte Grenzlinien. Die dunkleren Ränder der Penumbra nach aufsen, also nach dem Lichtmantel der Sonne hin, sind wohl nur eine Folge des scharfen optischen Kontrastes.

Lange Zeit stritt man sich darüber, ob die Flecken Erhöhungen oder Vertiefungen auf der Sonnenoberfläche bezeichneten. Schon Galilei hatte geäufsert, dafs, wenn zwei Sonnenflecken neben einander stehen und durch eine Lichtbrücke getrennt werden, dieser Isthmus bei der Bewegung vom Mittelpunkt nach dem Rande der Sonne schmaler werden, ja gänzlich verschwinden müfste, wenn die Flecken der Sonne Anschwellungen des Lichtmantels wären. Da jenes nicht der Fall ist, so schlofs er, dafs die Flecken Vertiefungen seien.

Fig. 12.



Ein Sonnenfleck in verschiedenen Stellungen (Wilsonsches Phänomen).

Namentlich war es Alexander Wilson in Glasgow, welcher für die Sonnenflecken die Gestalt trichterförmiger Einsenkungen forderte [2]). Er beobachtete im November 1769 den Lauf und die Ver-

[1]) Ein Teil der neueren Litteratur über diesen Gegenstand ist von J. Hann zusammengestellt in Wagners Geographischem Jahrbuch. Bd. VIII (1880), S. 142—146 und Bd. IX (1882), S. 118—122. Vgl. hierzu auch F. G. Hahn, Über die Beziehungen der Sonnenfleckenperiode zu meteorologischen Erscheinungen. Leipzig 1877 und Herm. Fritz, Die Beziehungen der Sonnenflecken zu den magnetischen und meteorologischen Erscheinungen der Erde. Haarlem 1878.

[2]) Seine Beobachtungen finden sich in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. LXIV (1774), p. 6 sq.

änderungen eines grofsen Fleckens und bemerkte dabei, dafs, als derselbe in der Mitte der Sonnenscheibe stand, die Penumbra den schwarzen Kern nach allen Seiten hin gleichmäfsig umgab, dafs hingegen, als sich der Fleck dem Sonnenrande näherte, der dem Centrum zugewandte Teil der Penumbra, sowie der benachbarte Teil des schwarzen Kernes allmählich verschwand. Figur 12 erläutert diesen Vorgang. Bei 3 und 4 ist bereits der eine Rand der Penumbra, bei 5 auch der Kern des Fleckens selbst nicht mehr sichtbar.

Diese Veränderungen liefsen sich durch die Regeln der Perspektive leicht erklären, indem man annahm, der Kern befinde sich in beträchtlicher Tiefe unter der Oberfläche der Sonne und die Penumbra bilde die unregelmäfsigen Seiten einer tiefen Höhle, die sich allmählich nach dem Kern hinabneige. Sah man senkrecht in den Trichter hinein, so war der Kernfleck von einem gleich breiten Schattensaum links und rechts, oben und unten umgeben; bewegte sich der Fleck hierauf nach dem westlichen Rande der Sonne, so blieb die westliche Trichterwand fast so breit, wie sie war; die östliche aber wurde mehr und mehr verdeckt, wie es die Gesetze der Perspektive verlangen. Nach Wilson sind also die Flecken trichterförmige Öffnungen in der Lichthülle der Sonne, durch welche hindurch man den dunklen Sonnenkörper (d. i. den Kern des Fleckens) sieht [1]).

Noch müssen wir hinzufügen, dafs die Sonnenflecken nicht immer das eben beschriebene, sogenannte Wilsonsche Phänomen zeigen, dafs nicht selten vielmehr jener aschefarbige Rand der Flecken über die ganze Sonnenscheibe hinwegzieht, ohne irgend welche Schmälerung zu erfahren. Unter den neueren Astronomen hat Warren De la Rue diesem Umstand besondere Aufmerksamkeit gewidmet und ist hierbei zu dem Resultate gelangt, dafs unter 89 Erscheinungen von Sonnenflecken 72 die Lehre Wilsons bestätigen, 17 ihr widersprechen. Dieses Verhältnis hat nichts Überraschendes, wenn man bedenkt, wie oft die Flecken ihre Form wirklich verändern. De la Rue hat übrigens ein sehr einfaches Mittel gefunden, um zu zeigen, dafs die Flecken wirkliche Höhlungen in der Sonnenoberfläche sind. Man legt zwei photographische Sonnenbilder, welche an zwei um etwa 15 Grad von einander entfernten Punkten aufgenommen sind, in ein

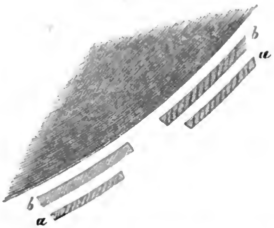
[1]) Jean Dominique Cassini war jedenfalls der erste, welcher — bereits um das Jahr 1671 — die Vermutung aussprach, dafs ein Lichtocean den dunklen Sonnenkörper umgiebt und dafs jene Lichthülle, durch gewaltsame Aufwallungen zerrissen, von Zeit zu Zeit die Berggipfel des lichtlosen Sonnenkörpers entblöfst. Das, meinte er seien die schwarzen Kerne im Centrum der Sonnenflecken. A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 383. 384.

Stereoskop; die Flecken erscheinen dann vollständig als Höhlungen, in deren Tiefe man hinabblickt [1]).

Der umfangreiche, mit bloſsem Auge sichtbare Fleck, welcher im Jahre 1779 erschien und 6 Monate hindurch beobachtet werden konnte, war die Veranlassung, daſs Sir William Herschel die Sonnenflecken zum Gegenstand einer gründlichen Untersuchung machte. Er richtete sein Riesenteleskop nach jenem Phänomen und bestätigte Wilsons Ansicht über die Höhlennatur der Flecken. Auf die angeführte Erscheinung gründete sich seine durch den groſsen Namen besiegelte und daher bis nach A. v. Humboldts Tod allgemein anerkannte Hypothese über die physische Beschaffenheit der Sonne.

Sir William Herschel nahm an, daſs der Sonnenkörper dunkel und von zwei Wolkenhüllen umgeben sei. Die obere von beiden, *a* (Fig. 13), ist selbstleuchtend, die untere hingegen, *b*, aus dunklen Wolken gebildet, welche nur einen relativ matten Schein von sich geben, indem sie das Licht der über ihnen lagernden Wolken reflektieren. Die unteren Wolken nannte er „planetarische", um ihre angenommene Ähnlichkeit mit den irdischen Wolken zu bezeichnen. Bricht nun die Photosphäre an irgend einer Stelle auf, so kommt zuerst die zwar nicht selbst leuchtende, wohl aber lichtreflektierende Dunstmasse als aschefarbige Penumbra zum Vorschein. Wird jedoch an einer Stelle das innere Wolkenlager zugleich mit dem äuſseren entfernt, so sehen wir die dunkle Oberfläche der Sonne als einen schwarzen Fleck, und falls die Öffnung in der äuſseren Schicht gröſser als die in der inneren ist, erscheint der schwarze Fleck ringsum von einem nebeligen Kranze umgeben, der alle die Merkmale und wechselnden Eigentümlichkeiten besitzt, die Wilson beobachtete. Da man späterhin, namentlich bei Sonnenfinsternissen, wiederholt rosenfarbige Auswüchse (Protuberanzen) an der Sonnenoberfläche erblickte, so nahm man sogar noch eine dritte, auſserhalb der Photosphäre liegende, aus den zartesten Wolkengebilden bestehende Umhüllung an: die Protuberanzenhülle.

Fig. 13.



Querdurchschnitt eines Sonnenfleckens nach der Anschauung Sir William Herschels. *a* Photosphäre. *b* planetarische Hülle.

Die Herschelsche Anschauung blieb nicht unangefochten. Be-

[1]) Secchi, Die Sonne. S. 71 f.

sonders wurde gegen sie geltend gemacht, daſs der Sonnenkörper unmöglich eine schwarze, also erkaltete Masse sein könne, so lange er von einer glühenden Atmosphäre umgeben sei. Diese müsse den Sonnenball selbst bis zur Weiſsglut erhitzen, da sie ihm beständig groſse Wärmemengen zusende, dieser aber durch Photosphäre und Dunsthülle vor rascher Erkaltung geschützt sei und höchstens bei Fleckenbildung, wenn also jene Hüllen zerreiſsen, gröſsere Wärmeverluste erleide.

Diesen Einwurf läſst Sir John Herschel nicht gelten. Er hält das Gegenteil für recht wohl möglich und spricht dies in den Worten aus: „Eine vollkommen reflektierende Dunsthülle würde den Sonnenkörper wirksam schützen gegen die Wärmestrahlung der über jenem Dunstkreise schwebenden Photosphäre.“ (A perfectly reflective canopy would effectually defend it (the sun) from the radiation of the luminous regions above its atmosphere.)[1]) Freilich ist nach dem jetzigen Stande der Naturwissenschaften ein „perfectly reflective canopy“ kaum denkbar und läſst sich am allerwenigsten für den vorliegenden Fall nachweisen.

Übrigens gab man späterhin zu, daſs der Sonnenkörper möglicher Weise in einem glühenden Zustand sich befinden könne und erklärte sich das dunkle Aussehen der Sonnenflecken in ihrem inneren Teile durch den Lichtkontrast. Eine solche Erklärung wird durchaus als zulässig erkannt werden, wenn wir hinzufügen, daſs das blendende Licht der Hydrooxygengasflamme 146 mal schwächer ist als das Sonnenlicht und daher vor der Sonnenscheibe wie ein schwarzer Körper erscheint. Wenn wir also von schwarzen Kernflecken auf der Sonnenoberfläche reden, so brauchen wir uns deswegen den Sonnenkörper nicht lichtlos zu denken, sondern dürfen seine Lichtintensität immerhin noch derjenigen der Hydrooxygengasflamme gleichstellen.

Woher die den Sonnenkern frei umschwebende Photosphäre komme und woher sie beständig den unermeſslichen Schatz von Licht- und Wärmekräften empfange: diese Fragen wurden damals noch gar nicht aufgeworfen; denn das Gesetz von der Erhaltung der Kraft war noch nicht entdeckt.

Unhaltbar wurde Herschels Hypothese, nachdem G. Kirchhoff seine berühmten spectralanalytischen Entdeckungen gemacht hatte [2]).

[1]) Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. § 396, p. 258.

[2]) Die Darlegung seiner Theorie über die physische Beschaffenheit der Sonne enthält der Aufsatz: „Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente“ in den Abhandlungen der Kgl. Akademie d. W. zu Berlin v. J. 1861, S. 63—95.

Fällt ein von einem weifsglühenden festen oder flüssigen Körper ausgehender Lichtstrahl durch einen Spalt auf ein Glasprisma, so wird, wie bereits früher bemerkt, der Strahl fächerförmig ausgebreitet und liefert ein kontinuierliches, aus den bekannten Regenbogenfarben bestehendes Farbenbild (Spectrum), während ein im Gaszustand glühender Stoff ein aus isolierten hellen Linien zusammengesetztes Spectrum hervorruft. Wird aber — und dies ist Kirchhoffs bedeutende Entdeckung — der von einem weifsglühenden festen oder flüssigen Körper ausgesandte Strahl noch durch einen gasförmig glühenden Stoff geleitet, so erscheint uns das kontinuierliche Spectrum von schwarzen Linien durchschnitten, und zwar zeigen sich diese genau an denjenigen Stellen des Spectrums, wo das glühende Gas ohne den weifsglühenden Hintergrund eine oder mehrere helle Linien erzeugt hätte. So giebt das Drummondsche Kalklicht, durch ein Prisma zerlegt, ein kontinuierliches Spectrum. Wird es hingegen noch durch eine mit Natriumdämpfen erfüllte Flamme geführt, so befindet sich in seinem Spectrum eine schwarze Linie und zwar genau an derjenigen Stelle, wo das Licht der Natriumflamme allein eine gelbe Linie hervorgerufen hätte. Da nun jedes glühende Gas seine eigenen Spectrallinien besitzt, so verraten uns jene dunklen Linien in einem kontinuierlichen Spectrum, dafs und durch welche glühenden Gase ein von einem festen oder flüssigen weifsglühenden Körper ausgegangener Lichtstrahl seinen Weg genommen hat.

Nun erkennen wir, wie es möglich ist, aus der Beschaffenheit des Sonnenspectrums ein Urteil über die physischen Zustände auf der Sonnenoberfläche abzuleiten.

Da das Sonnenspectrum keineswegs ein kontinuierliches ist, sondern von zahlreichen dunklen Linien, den sogenannten Fraunhoferschen Linien, durchschnitten wird, so durfte man vor allen Dingen ein Zweifaches annehmen: 1) dafs die Sonnenstrahlen nicht von einer glühenden Lufthülle (Photosphäre) ausgehen, sondern von dem weifsglühenden, in festem oder flüssigem Aggregatzustande sich befindenden Sonnenkörper; 2) dafs derselbe von einer glühenden Gashülle umgeben ist, welche von zahlreichen, ebenfalls in gasförmigen Zustand aufgelösten Elementen durchdrungen ist.

Die Fraunhoferschen Linien gestatten uns ferner, diese Elemente näher zu bestimmen. Es werden nämlich alle diejenigen Stoffe im gasförmigen Zustande die Sonnenatmosphäre erfüllen, deren Flammenspectra genau dieselben bunten Linien liefern, die uns im Sonnenspectrum als dunkle Linien erscheinen. Diese letzteren belehren uns nicht nur über die Qualität der Dämpfe, durch welche sie erzeugt werden, sondern auch über ihre Quantität; denn in je reicherem Mafse

gewisse Stoffe in der Sonnenatmosphäre vorkommen, um so stärker sind die ihnen entsprechenden dunklen Linien.

Die spectralanalytischen Untersuchungen des Sonnenlichtes haben bisher zu folgenden Ergebnissen geführt:

Die Elemente, aus denen sich die Sonnenatmosphäre zusammensetzt, sind nicht gleichmäfsig in derselben verteilt, sondern erheben sich, je leichter sie sind, zu um so bedeutenderen Höhen. Die äufserste Umhüllung der Sonne bildet ein auf Erden unbekanntes Element, Helium genannt[1]), welches wahrscheinlich noch leichter als Wasserstoff ist. Darunter schwebt die sogenannte Chromosphäre, welche hauptsächlich aus Wasserstoff besteht, zuweilen aber auch Magnesium und andere Substanzen enthält. Dieser folgt endlich noch weiter abwärts eine bedeutende Schicht von metallischen Dämpfen. Die letztere ist es vorzugsweise, welche die Bildung von dunklen Linien im Sonnenspectrum veranlafst. Aus der Stärke derselben geht hervor, dafs Calcium in besonders reicher Menge hier vorhanden ist. Aufser den bereits genannten Elementen kommen noch vor: Magnesium, Natrium, Titan, Nickel, Chrom, Eisen, Mangan, Aluminium, Kupfer, Zink, Baryum, Kobalt und wahrscheinlich auch Kalium, Blei, Cer, Uran, Strontium und Kadmium[2]). Hierzu kommt nach einer neueren Entdeckung auch der Sauerstoff[3]), welcher sich durch helle Linien oder Banden in dem Sonnenspectrum zu erkennen giebt; doch konnte das Vorhandensein von Stickstoff nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden. Noch nicht bemerkt wurden bisher die Spectrallinien für Gold, Silber, Platin und Quecksilber, woraus wir jedoch nicht schliefsen dürfen, dafs diese Elemente überhaupt nicht auf der Sonne existieren. Vielleicht finden sich dieselben wegen der grofsen Dichtigkeit ihrer Dämpfe nur in den tieferen, der Spectralanalyse nicht zugänglichen Schichten der Sonne. Ebenso vermissen wir die Linien der Metalloide und die, welche chemischen Verbindungen eigen sind. Jene gasige Masse hat

[1]) Neuerdings ist es übrigens sehr zweifelhaft geworden, ob Helium ein der Sonne eigentümliches Element ist; denn im Jahre 1881 entdeckte Luigi Palmieri bei seinen spectralanalytischen Beobachtungen der Lava eine Linie, die genau mit der des Heliums übereinstimmt. Andererseits ist Abbé Spée (Bulletin de l'Acad. Belge. Tome XLIX, p. 379) zu der Ansicht gelangt, dafs die Heliumlinie wahrscheinlich dem Wasserstoff angehört und zwar einem sehr stark erhitzten Zustande dieses Gases.

[2]) J. Norman Lockyer über „Celestial Chemistry" in Nature. Vol. IX. Nr. 231 (2. April 1874), p. 431 sq.

[3]) Henry Draper in Sillimans Journal. Vol. XIV (1877), p. 89 sq. Nach den Untersuchungen Vogels sind die hellen Linien Drapers nur die Lücken zwischen zarten Gruppen dunkler Linien und erscheinen lediglich durch den Lichtkontrast hell.

demnach eine solche Weifsglut, dafs ihr keine chemischen Verbindungen zu widerstehen vermögen [1]).

So wurde der Sonnenoberfläche durch die Spectralanalyse ein ganz anderer Charakter aufgeprägt. Nun galt es, das oben erwähnte Wilsonsche Phänomen im Sinne dieser neuen Entdeckung zu erklären. Kirchhoff selbst hat dies versucht und zwar in folgender Weise [2]):

„In der Atmosphäre der Sonne müssen ähnliche Vorgänge als in der unsrigen stattfinden; lokale Temperaturerniedrigungen müssen dort wie hier die Veranlassung zur Bildung von Wolken geben; nur werden die Sonnenwolken ihrer chemischen Beschaffenheit nach von den unsrigen verschieden sein. Wenn eine Wolke dort sich gebildet hat, so werden alle über derselben liegenden Teile der Atmosphäre abgekühlt werden, weil ihnen ein Teil der Wärmestrahlen, welche der glühende Körper der Sonne ihnen vorher zusendete, durch die Wolken entzogen wird. Diese Abkühlung wird um so bedeutender sein, je dichter und gröfser die Wolke ist, und dabei erheblicher für diejenigen Punkte, die nahe über der Wolke liegen, als für die höheren. Eine Folge davon mufs sein, dafs die Wolke mit beschleunigter Geschwindigkeit von oben her anwächst und kälter wird. Ihre Temperatur sinkt unter die Glühhitze; sie wird undurchsichtig und bildet den Kern eines Sonnenfleckens. Aber auch noch in beträchtlicher Höhe über dieser Wolke findet Temperaturerniedrigung statt; sind hier irgendwo durch die Tiefe der schon herrschenden Temperatur oder durch das Zusammentreffen zweier Luftströme die Dämpfe ihrem Kondensationspunkte nahe gebracht, so wird diese Temperaturerniedrigung die Bildung einer zweiten Wolke bewirken, die weniger dicht ist als jene, weil in der Höhe der geringeren Temperatur wegen die Dichte der vorhandenen Dämpfe kleiner ist als in der Tiefe, und die, teilweise durchsichtig, den Halbschatten bildet, wenn sie eine hinreichende Ausdehnung gewonnen hat.“

Jene beiden Wolkenschichten vertreten die zwei Öffnungen der planetarischen Hülle und der Photosphäre, wie sie Sir William Herschel einst angenommen hatte, und entwickeln sich die Sonnenwolken in der angedeuteten Weise, so beobachtet der irdische Beschauer ein Gebilde, welches ganz dem Wilson-schen Phänomen entspricht.

Unter den neueren Versuchen, die Entstehung der Sonnenflecken darzulegen, nimmt derjenige F. Zöllners eine hervorragende Stellung

[1]) Nature. Vol. X, Nr. 252 (27. August 1874), p. 349.
[2]) Kirchhoff, l. c. S. 86 f.

ein, weil er alle mit denselben verbundenen Erscheinungen in der einfachsten und ungezwungensten Weise erklärt [1]).

Er geht von den beiden, bereits von Kirchhoff ausgesprochenen Sätzen aus:

„Die wahrscheinlichste Annahme, die man machen kann, ist die, daſs die Sonne aus einem festen oder tropfbar-flüssigen, in der höchsten Glühhitze befindlichen Kern besteht, der umgeben ist von einer Atmosphäre von etwas niedrigerer Temperatur."

„Bei der Sonnenatmosphäre sind es Schichten, die in gewisser Höhe über der Oberfläche des Kernes sich befinden, die das meiste zur Bildung der dunklen Linien des Spectrums beitragen; die untersten Schichten nämlich, die nahe dieselbe Temperatur als der Kern besitzen, verändern das Licht dieses wenig, da sie jedem Lichtstrahle den Verlust an Intensität, den sie durch Absorption herbeiführen, durch ihr eigenes Glühen nahe ersetzen" [2]).

Was den ersten Satz anlangt, so erscheint allerdings nach den Untersuchungen Franklands und Lockyers auch die Annahme eines gasförmigen Sonnenkörpers zulässig. Diese nämlich haben ergeben, daſs nicht bloſs glühende feste oder flüssige Körper, sondern auch glühende Gase unter hohem Druck ein kontinuierliches Spectrum liefern. Wüllner hat nachgewiesen, daſs das Spectrum des Wasserstoffgases, wenn es unter dem Druck einer Quecksilbersäule von 23 Millimeter Höhe steht, noch aus den drei hellen Linien H_α, H_β und H_γ besteht, daſs aber bei zunehmendem Druck die drei Linien sich allmählich zu drei Bändern erweitern, bis endlich unter einem Druck von 1000 Millimetern ein kontinuierliches Spectrum, bei einem Druck von 1230 Millimetern sogar ein solches von blendendem Farbenglanz sich zeigt [3]). Demnach ist es wahrscheinlich, daſs wir für gewöhnlich nicht den Sonnenkörper selbst sehen, sondern diejenige Schicht der ihn umgebenden Wasserstoffatmosphäre, deren Spectrum durch hohen Druck ein kontinuierliches geworden ist. Somit vermag uns auch das Sonnenspectrum keinen sicheren Aufschluſs über den Aggregatzustand der an der Sonnenoberfläche liegenden Schichten zu geben.

[1]) Die benützten Abhandlungen Zöllners finden sich in den Berichten über die Verhandlungen d. Kgl. Sächs. Gesellschaft d. W., math.-phys. Klasse: Sitzung am 1. Juli 1869, S. 145—148, am 2. Juni 1870, S. 103—123, am 12. Dezember 1870, S. 338—350, am 11. Februar 1871, S. 49—113, am 21. Februar 1873, S. 158—194, am 7. November 1873, S. 505—522; ferner in Poggendorffs Annalen. Bd. CXLII (1871), S. 524—539.

[2]) Abhandlungen der Kgl. Akademie d. W. zu Berlin v. J. 1861, S. 83.

[3]) Poggendorffs Annalen. Bd. CXXXVII (1869), S. 337—361.

Zöllner gelangt durch die Untersuchung der Protuberanzen (Ausbrüche von glühenden Wasserstoffmassen an der Sonnenoberfläche, vgl. S. 79 ff.) zur Annahme einer tropfbar-flüssigen Beschaffenheit der Sonnenoberfläche. Ein grofser Teil der Protuberanzen besitzt nämlich einen scharf ausgeprägten eruptiven Charakter; ihre Entstehung setzt also lokale Ansammlungen von Wasserstoffmassen in blasenartigen Hohlräumen voraus. Diese Ansammlungen aber erfordern eine Trennungsschicht, welche den Raum, aus welchem die Eruptionen stattfinden, von demjenigen trennt, in welchen sie sich ergiefsen. Sie kann natürlich nicht aus einer gasförmigen Masse bestehen, mufs also fest oder flüssig sein. Da wir nun den festen Aggregatzustand mit Rücksicht auf die hohe Temperatur ausschliefsen dürfen, so bleibt uns nur die Annahme einer tropfbar-flüssigen Sonnenoberfläche übrig.

Die Richtigkeit des zweiten Kirchhoffschen Satzes (S. 74) erkennt Zöllner unbedingt an. Vermittelst starker Fernrohre erblickt man auf der Sonnenoberfläche cumulusartige Gebilde von leuchtenden Wolken, die aber, weil sie hoch erhitzt sind, einen so lebhaften Glanz besitzen, dafs zwischen ihnen und ihrer Umgebung nur eine äufserst geringe Helligkeitsdifferenz besteht, weshalb sie auch nur sehr schwer wahrnehmbar sind. Aus der Existenz derartiger Wolken — fährt Zöllner im ausgesprochenen Gegensatz zu den Anschauungen Kirchhoffs fort — läfst sich die Fleckenbildung nicht befriedigend erklären; denn sie vermögen uns weder über die relative Dunkelheit, noch über das wochen-, ja monatelange Beharren der Flecken in Gröfse und Form Aufschlufs zu geben.

Zöllner erkennt den festen Aggregatzustand als den günstigsten an zur längeren Lokalisierung eines Wärmeverlustes, „weil bei diesem die Ausgleichung der Temperaturerniedrigung nur durch Leitung möglich ist und nicht wie bei Körpern im flüssigen oder gasförmigen Zustande noch durch Gleichgewichtsstörungen beschleunigt wird.“ Er betrachtet deshalb die dunklen inneren Teile der Sonnenflecken als schlackenartige Abkühlungsprodukte auf der glühendflüssigen Oberfläche.

Nachdem Zöllner den Nachweis geführt hat, dafs die lokalen Temperaturerniedrigungen, durch welche die Sonnenflecken entstehen, in erster Linie der Ausstrahlung von Wärme zugeschrieben werden müssen, untersucht er, welche Gebiete der Sonnenoberfläche für eine starke Wärmeausstrahlung besonders disponiert sind.

Man darf annehmen, dafs dieselbe — wie auf Erden — da am intensivsten ist, wo die darüber befindliche Atmosphäre möglichst ruhig und klar ist; wo hingegen warme Luftströme in relativ kalte Regionen emporsteigen oder warme und kalte Luftströme sich treffen, wird

Trübung der Atmosphäre, vermehrte Wolkenbildung eintreten und die Fleckenbildung auf ein Minimum reduciert werden.

Die irdische Lufthülle wird vorzüglich von zwei Luftströmungen bewegt: dem Äquatorial- und Polarstrom. Am Äquator, wo der entstehende Äquatorialstrom mit großer Energie erhitzte Luft in die oberen kälteren Regionen entführt und in denselben Kondensation der Wasserdämpfe hervorruft, begegnen wir der regenreichen Zone der Calmen. Ferner finden sich polwärts vom 30. Grad nördlicher und südlicher Breite zwei Gebiete beständiger Trübung der Atmosphäre, weil sich hier Äquatorial- und Polarstrom stets durchdringen. Dagegen ist das Gebiet der Passate zu beiden Seiten der Calmenzone ein Gebiet relativer Heiterkeit des Himmels, da die hier herrschenden Winde beständig den wärmeren Äquatorialgebieten zueilen, sich also von ihrem Sättigungspunkte mehr und mehr entfernen.

Ähnliche Vorgänge wiederholen sich auf der Sonne; nur liegen ihnen hier natürlich ganz andere Ursachen zu Grunde, da die luftbewegenden Kräfte nicht wie auf Erden von außen zugeführt werden.

Auf der Sonne sind die ihrer glühend-flüssigen Oberfläche näher liegenden unteren Schichten bedeutend wärmer als die oberen, da die letzteren durch Ausstrahlung die erhaltene Wärme rasch wieder verlieren, während die ersteren immer reiche Wärmemengen von unten her empfangen. Die unteren Schichten der Sonnenatmosphäre sind deshalb leichter als die oberen, welche von ihnen getragen werden; sie haben also das Bestreben, sich zu erheben. Da aber ein solches Emporsteigen nur möglich ist, wenn an einer anderen Stelle gleichzeitig ein Herabsteigen stattfindet, so ist bei der an allen Stellen der Sonnenkugel vorausgesetzten vollkommenen Gleichheit der Bedingungen zunächst an die Entwicklung einer Luftcirkulation nicht zu denken. Das System befindet sich im Zustande des labilen Gleichgewichts wie etwa ein Stock, den man auf der Hand balanciert. Doch reicht schon ein kleiner Stoß hin, ihn zum Fallen zu bringen. So genügt auch eine kleine Ursache, jenen Zustand des labilen Gleichgewichts zu beseitigen. Und eine solche Ursache ist in der That vorhanden: es ist die Achsendrehung der Sonne.

Die Teile eines rotierenden Körpers besitzen das Bestreben, sich von der Drehungsachse zu entfernen, und zwar ist dieses um so größer, je weiter sie von derselben abstehen. Auf der Sonne ist es am Äquator am bedeutendsten. Hier ist also die Tendenz der Luft, sich zu erheben, größer als anderwärts, und dieser Umstand dürfte hinreichen, am Sonnenäquator einen kräftigen Luftstrom nach oben zu erzeugen. So wird ein Luftcirkulationssystem eingeleitet, welches dem auf Erden durchaus ähnlich ist: von Nord und Süd her dringen Polar-

ströme auf den frei gewordenen Raum ein, während der am Äquator senkrecht empor gestiegene Luftstrom, der sogenannte Äquatorialstrom, zuerst ungestört über den Polarstrom hinwegfliefst, in mittleren Breiten aber herabsteigt, um sich mit dem letzteren zu vermischen.

Wenn nun wirklich, wie es die Theorie fordert, eine solche Cirkulation in der Sonnenatmosphäre besteht, so müfste dieselbe an der Bewegung der Protuberanzen in ähnlicher Weise erkannt werden, wie etwa der rücklaufende Passat an den Aschensäulen der Vulkane. In der That ist diese hypothetische Annahme neuerdings mehrfach bestätigt worden. Nach Secchis 42tägigen Beobachtungen verhielt sich die Zahl der dem Gesetz entsprechend sich bewegenden Protuberanzen zu der Zahl der mit diesem nicht übereinstimmenden wie 292:100. Ebenso hat Spörer[1]) vom 21. Mai bis 5. Oktober 1871 25 Protuberanzen beobachtet, welche beweisen, dafs auf beiden Halbkugeln in den oberen atmosphärischen Schichten eine vom Äquator zum Pol gerichtete Strömung existiert. In demselben Jahre fand Vogel, dafs von 13 beobachteten Protuberanzen mit Ausnahme einer einzigen alle auf Ströme hindeuteten, welche sich in den oberen Regionen polwärts bewegten[2]).

Eine derartige Entfaltung von Luftströmungen gestattet uns nun weiter zu schliefsen, dafs es auch auf der Sonne zwei Gebiete giebt, welche durch atmosphärische Trübungen in Form von Wolkenbildungen ausgezeichnet sind: das eine befindet sich am Äquator, wo durch den aufsteigenden Luftstrom stark erhitzte und mit Dämpfen gesättigte Luftmassen sich schnell abkühlen, das andere in den Polarzonen, wo die relativ abgekühlten oberen Luftmassen beim Herabsteigen sich mit wärmeren und dampfreicheren Schichten in den unteren Teilen der Atmosphäre mischen. Diese Wolkenbildungen, welche — wie wir nochmals hervorheben — im höchsten Grade erhitzt sind und sich daher an Helligkeit nicht wesentlich von ihrer Umgebung unterscheiden, verrichten die Dienste eines Schirmes und verzögern die Abkühlung der unter ihnen sich ausbreitenden Sonnenoberfläche. Nördlich und südlich vom solaren Calmengürtel aber liegen, den irdischen Passatgebieten entsprechend, zwei Zonen relativer Klarheit der Atmosphäre. Hier kann also die kräftigste Wärmeausstrahlung erfolgen; hier haben wir auch den Hauptherd der Fleckenbildung zu suchen.

Die bisher gemachten Beobachtungen stimmen hiermit aufs ge-

[1]) Monatsberichte der Kgl. Preufsischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1871, S. 655–670.

[2]) F. Zöllner, Über die Natur der Cometen. Leipzig 1872. S. 487 f.

naueste überein. Schon Sir John Herschel[1]) machte darauf aufmerksam, dafs die Sonnenflecken meist in der Zone zwischen dem 25. Grad nördlicher und südlicher Breite vorkommen und nur selten jenseits des 30. Grades, niemals jenseits des 50. Grades gesehen werden. Die höchste Frequenz weist der Raum zwischen dem 11. und 15. Grad nördl. Breite auf; dagegen ist ein Streifen zu beiden Seiten des Äquators (etwa bis zum 5. Grad nördlicher und südlicher Breite reichend) fast immer frei von Flecken. Zu ähnlichen Resultaten gelangte Spörer[2]). Für einen elfjährigen Zeitraum, welcher ein Maximum und Minimum der Flecken umfafste, fand er als mittlere Entfernung derselben vom Sonnenäquator $15\frac{1}{2}$ Grad. Zwar wechselte diese Gröfse innerhalb der genannten Periode nicht unbeträchtlich; denn sie ging zwischen 1863 und 1866 von $10\frac{2}{3}$ auf 9 Grad zurück, erhob sich 1868 bis zu 23 Grad, um dann bis zum Jahre 1875 wieder zu 11 Grad herabzusinken. Doch geht auch aus diesem Wechsel klar hervor, dafs die Sonnenflecken stets die Zonen der „Sonnenpassate“ bevorzugen.

Wir haben oben gesehen, dafs Zöllner die Sonnenflecken als schlackenartige Abkühlungsprodukte betrachtet; wie sind nun nach dieser Theorie die Penumbren zu erklären?

Jeder Fleck an der Sonnenoberfläche bezeichnet, mit seiner Umgebung verglichen, ein Gebiet starker Temperaturerniedrigung. Die dadurch entstehende Gleichgewichtsstörung hat notwendig eine lebhafte Cirkulation der den Flecken umlagernden Atmosphäre zur Folge. Der aufsteigende Teil der Cirkulation entwickelt sich gleichsam an der Aufsenseite des Fleckens und erzeugt, indem er das Aufquellen heifserer Teile der Atmosphäre über dem gewöhnlichen Niveau der beständig leuchtenden Gasschichten begünstigt, die sogenannten Fackeln. Der absteigende, mehr innere Teil der Cirkulation erfährt über dem Flecken sofort eine Abkühlung; es bilden sich daher dichte Wolken, welche in einer gewissen Höhe über der Schlackenmasse schweben und uns auf dieselbe projiziert als Penumbra erscheinen. Infolge der Temperaturerniedrigung sind jene Wolkengebilde weniger leuchtend, infolge ihrer absteigenden Bewegung mit ihrem inneren Rande nach der Oberfläche des Fleckens gesenkt, also in ihrer Gesamtheit trichterartig vertieft. So erklärt sich nach dieser Theorie auch das Wilsonsche Phänomen vollständig ungezwungen.

Jene mächtigen Wolken über dem Flecken verhindern die weitere kräftige Wärmeausstrahlung; im Gegenteil wird durch Leitung von

[1]) Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. § 393, p. 251.

[2]) Astronomische Nachrichten. Bd. LXXXVIII (1876), Nr. 2106, Sp. 275—280 und Bd. CI (1882), Nr. 2402, Sp. 27 f.

unten und durch Herabströmen glühender Verdichtungsprodukte der Schlackenmasse allmählich eine reiche Wärmemenge wieder zugeführt. Daher schmilzt die Schlackenmasse, und der Fleck löst sich auf.

Um zu zeigen, mit welcher Schnelligkeit sich Flecken in einzelnen Fällen auflösen, führen wir nur ein Beispiel an. Der von Tobias Mayer am 15. März 1758 beobachtete Fleck hatte eine Breite von über 9000 geographischen Meilen; sein Durchmesser war also über fünfmal so grofs als der Erddurchmesser, und seine Fläche übertraf etwa 25 mal das Areal sämtlicher Länderräume der Erde. Nehmen wir an, dafs er noch 6 Wochen lang bestand, als er den Höhepunkt seiner Entwicklung erreicht hatte (und Sonnenflecken vermögen sich dann selten länger zu behaupten), so mufsten sich die einander gegenüber liegenden Ränder im Durchschnitt täglich mehr als 200 geographische Meilen nähern [1]). Und doch ist seine Bildung sicher noch viel rascher vor sich gegangen als seine Auflösung.

Zu der Wirkung der Ausstrahlung gesellt sich nämlich beim Beginn der Fleckenbildung noch eine zweite abkühlende Wirkung, indem kältere Luftmassen aus den höheren Regionen der Atmosphäre herabsteigen und die Oberflächentemperatur so lange erniedrigen, bis ihnen dies wegen fortgeschrittener Erkaltung des Fleckens nicht weiter gelingt und von oben kommende relativ wärmere Strömungen das Übergewicht erlangen. Die Auflösung eines Fleckens hingegen kann nur durch Berührung mit wärmeren Luft- oder Flüssigkeitsmassen bewirkt werden, da eine Erwärmung durch Strahlung von aufsen nicht stattfindet. Zwei Ursachen wirken also im Sinne der Fleckenbildung, nur eine in dem der Auflösung. Daraus erklärt sich die rasche Entwicklung, aber verhältnismäfsig langsame Verzehrung der Flecken. Wir beobachten auf Erden übrigens ganz ähnliche Verhältnisse: in einer einzigen Nacht bedeckt sich bisweilen die Oberfläche eines Sees dicht mit Eisschollen, zu deren Auflösung tagelang warme Witterung erforderlich ist. Aus gleichem Grunde steigt auch die Häufigkeitskurve der Sonnenflecken rascher aufwärts als abwärts (vgl. S. 66).

Noch müssen wir einer Erscheinung gedenken, welche besonders an den Rändern der Sonnenflecken häufig sichtbar ist: es sind dies rosenfarbige Hervorragungen eruptiver Natur, denen man den Namen Protuberanzen gegeben hat.

Obwohl schon Vassenius in Gothenburg am 13. Mai 1733 dieselben wahrgenommen hatte [2]), wandte man ihnen doch erst seit der

[1]) Sir John F. W. Herschel, l. c. § 386, p. 244 sq.

[2]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. XXXVIII (1733), p. 134 sq.

totalen Sonnenfinsternis im Jahre 1842 ein erhöhtes Interesse zu. Damals wurden Zweifel laut, ob sie wirklich zum Sonnenkörper selbst gehören; man sprach wohl gar die Vermutung aus, daſs dieses Phänomen von kleinen Wolkenmassen der Erdatmosphäre herrühre. Später beobachtete man sie bei allen totalen Sonnenfinsternissen, da sie immer an den Rändern der sich deckenden Mond- und Sonnenscheibe deutlich hervortraten. Besonders wichtig für ihre Erforschung wurde die totale Sonnenfinsternis vom 18. August 1868, bei welcher sie zum ersten Male spectroskopisch untersucht wurden [1]). Ihr Spectrum zeigte die den Fraunhoferschen Linien *C* und *F* entsprechenden hellen Linien; sie sind demnach Gebilde gasförmiger Natur und bestehen hauptsächlich aus glühendem Wasserstoffgas. Später haben Janssen und Lockyer in den Protuberanzen auch das Helium (s. S. 72, Nota 1) entdeckt [2]).

Die groſse Helligkeit der Spectrallinien erweckte bei dem französischen Physiker Janssen die Hoffnung, auch auſser der Zeit einer totalen Sonnenfinsternis die Protuberanzen spectroskopisch untersuchen zu können. In der That gelang ihm dies schon an dem 19. August, dem Tage nach der erwähnten Sonnenfinsternis. Da die Länge der hellen Spectrallinien zugleich ein Maſs ist für die Höhe der Protuberanz an der Stelle, auf welche der Spalt des Instruments gerichtet ist, so war man auch im Stande, durch sorgfältige Beobachtung des Spectrums die Gestalt der Protuberanz zu ermitteln. Man richtete den Spalt des Spectroskops nach und nach auf verschiedene Teile der Protuberanz und notierte jedesmal Länge und Lage der hellen Spectrallinien; aus der Zusammenstellung der gewonnenen Data ergab sich dann das Bild der Protuberanz. Erst Zöllner erfand ein Verfahren, welches gestattet, jederzeit die ganze Protuberanz zu überschauen.

Unter den Protuberanzen befindet sich eine nicht unbeträchtliche Anzahl solcher, deren Anblick jedem Beobachter unmittelbar die Überzeugung aufdrängt, daſs man es hier mit gewaltigen Eruptionen von glühenden Wasserstoffmassen zu thun habe. Zöllners Untersuchungen haben es wahrscheinlich gemacht, daſs sich jene Wasserstoffmengen in den unterhalb der glutflüssigen Sonnenoberfläche liegenden Schichten ansammeln, infolge hoher Spannung hervorbrechen und wegen der bedeutenden Druckdifferenz des ausströmenden Gases im Innern und an der Oberfläche der Sonne zu ungeheuren Höhen emporgeschleudert werden. Nach Zöllners Beobachtungen steigen Protuberanzen oft in 10 bis 12 Minuten zu einer scheinbaren Höhe

[1]) Comptes rendus. Tome LXVII (1868), p. 838 sq.
[2]) Nature. Vol. X, Nr. 252 (27. August 1874), p. 349.

von 1,5 bis 3 Bogenminuten empor, also bis zu einer wahren Höhe von 64 bis 128 Millionen Meter (= 8 625 bis 17 250 geogr. Meilen, d. i. das 5- bis 10fache des Erddurchmessers). Zöllner berechnet, indem er für die Höhe einer Protuberanz einen Wert von 64 Millionen Meter annimmt, eine Anfangsgeschwindigkeit des Aufsteigens von c. 25 geogr. Meilen in der Sekunde, eine Bewegungsgröfse, welche nach der mechanischen Wärmetheorie beim Wasserstoff Temperaturdifferenzen von 40 690° C. voraussetzt, d. h. die absolute Temperatur der eingeschlossenen Gasmasse ist um so viel höher als die Temperatur der Sonnenatmosphäre unmittelbar über der glühend-flüssigen Oberfläche der Sonne.

Auf die Principien der mechanischen Wärmetheorie sich stützend findet Zöllner für die Temperatur der Sonnenatmosphäre einen Wert von 27 700° C., eine Temperatur, welche so hoch ist, dafs Eisen in der Sonnenatmosphäre dauernd im gasförmigen Zustande existieren mufs; die Temperatur in ihrem Innern würde demnach c. 68 400° C. betragen [1]).

Noch besitzt die Sonne, wie eben gezeigt wurde, einen reichen Schatz von Wärmekräften, und doch müssen wir sagen, dafs die Fleckenbildung ein unzweifelhaftes Zeichen von Altersschwäche, ein Zeichen für eine herannahende Erschöpfung ihres Wärmevorrates ist. Aus der Betrachtung der Sonnenflecken können wir sogar ableiten, welchen weiteren Verlauf dieser Abkühlungsprozefs nehmen wird. Da die Flecken in zwei Zonen zu beiden Seiten des Äquators auftreten und diesem parallel ziehen, so entstehen dermaleinst kettenartige Verknüpfungen von Flecken in den Passatzonen und somit Fleckenringe. Sie vermögen sich zwar zunächst nicht zu behaupten; sie werden vielmehr durch neue Wärmezuleitung periodisch wieder aufgelöst. Doch kehren sie stets rascher und mächtiger wieder, bis sie schliefslich das gewonnene Terrain nicht wieder verlassen. So ist die Bildung zweier fester Krustenzonen eingeleitet. Sterne mit periodischem Lichtwechsel, wie sie schon vielfach beobachtet worden sind, dürften vielleicht bereits in dieses Stadium eingetreten sein.

Endlich kommt für solche leuchtende Körper einmal die Zeit, wo ihre ganze Oberfläche erstarrt und lichtlos ist. Die Existenz solcher Sterne ist schon von verschiedenen bedeutenden Astronomen theoretisch

[1]) Die Bestimmung der Temperatur an der Sonnenoberfläche gehört zu den schwierigsten Problemen der physikalischen Astronomie; daher weichen auch die hierauf bezüglichen Ergebnisse der Forschung weit von einander ab, am weitesten diejenigen Pouillets und Secchis. Während ersterer nur 1461 oder 1761 ° C. findet, steigert letzterer diesen Wert auf 5—10 Millionen Grad C. (Secchi, Die Sonne. S. 573).

gefordert worden, so von Bessel, welcher aus den eigentümlichen Bewegungen von Procyon und Sirius geschlossen hat, dafs sie beide Doppelsterne sind, von denen je einer lichtlos ist. A. v. Humboldt hatte scherzend seine Besorgnis über die Gespensterwelt der dunklen Gestirne ausgesprochen; Bessel beharrte jedoch in seinem Glauben an diese und protestierte in einem Briefe an A. v. Humboldt (Juli 1844) lebhaft gegen dessen Äufserungen [1]).

Jedenfalls geht die Sonne aus einem Stadium reichster Fülle von Wärmekräften allmählich über in ein solches mit anfänglich periodischer und dann konstanter Fleckenringbildung, endlich aber in einen Zustand gänzlicher Erstarrung ihrer Oberfläche. In diesen Vorgängen erblicken wir ein ziemlich getreues Abbild der verschiedenen Entwicklungsperioden unseres Erdkörpers in früheren geologischen Zeitaltern; gleichzeitig aber sehen wir in ihnen das einstmalige Schicksal der Erdenbewohner besiegelt.

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 267 ff.

IV. Die günstige Stellung der Erde im Sonnensystem.

Nach der ptolemäischen Vorstellung vom Weltgebäude waren alle Himmelskörper unseres Sonnensystems der Erde dienstbar. Diese stand in der Mitte des weiten Alls, und um sie sollten der Mond, die Sonne und die fünf damals bekannten Planeten ihre Bahnen beschreiben. Copernicus († 1543) war es, der, wie er selbst sagt, die Weltleuchte, die Sonne, die ganze Familie kreisender Gestirne lenkend, in die Mitte des schönen Naturtempels wie auf einen königlichen Thron setzte. Zuerst erntete die neue Lehre nur wenig Beifall, da ihr noch thatsächliche Beweise fehlten, während ihr das Zeugnis der Sinne direkt entgegen stand; auch erregte sie kirchlichen Anstofs und zwar nicht blofs, weil sie einigen Stellen der Heiligen Schrift zu widersprechen schien, sondern auch weil sie die Erde in ihrem Range tief erniedrigte. Wir werden uns nun in dem folgenden mit der Frage beschäftigen, ob die Erde wirklich nur ein unbedeutendes Tröpfchen in dem Ocean der Welten ist oder ob wir sie als einen besonders begünstigten Himmelskörper ansehen dürfen. Wir betrachten zu diesem Zwecke die Gestirne unseres Sonnensystems, und es wird sich ergeben, dafs die neueren Forschungen der Erde unerwartet wieder einen hohen Rang sichern; denn sie machen es wahrscheinlich, dafs sie entweder der einzige oder wenigstens ein ganz bevorzugter Schauplatz von Lebenserscheinungen innerhalb des weiten Sonnensystems ist.

Von der Sonne haben wir bereits in dem vorhergehenden Abschnitt gesprochen. Ihren Dimensionen gegenüber verschwindet allerdings die Erde; denn ihr Durchmesser ist 108½ mal so grofs als derjenige unseres Planeten, und in ihrer Riesenkugel ist Raum für eine Masse, welche 1 277 289 mal diejenige des Erdkörpers übertrifft. Ihr Gewicht ist 745 mal so grofs als das aller Planeten zusammen und 324 500 mal so grofs als das der Erde, obwohl ihr specifisches Gewicht nur 1,42 beträgt. Ebenso mufsten wir ihre ungeheuren Wärmekräfte bewundern; denn die Sonnenatmosphäre hat nach Zöllners

Berechnungen eine Temperatur von 27 700 ° C.; sie ist also achtmal so grofs als die von Bunsen angegebene Hitze der Knallgasflamme. Und doch ist die kleine Erde in einer Beziehung weit über die majestätische Sonne erhaben: sie ist von organischen Wesen bewohnt, während die Sonne nach menschlichem Ermessen niemals der Schauplatz organischen Lebens gewesen ist und auch in Zukunft nicht werden kann. In früheren Zeiten hielt man mit besonderer Vorliebe den Gedanken an die Bewohnbarkeit der Sonne fest. Noch Sir William Herschel liefs sich, beeinflufst durch denselben, zu der Annahme eines festen Sonnenkörpers verleiten, über welchem sich nach seiner Ansicht zum Schutze gegen die Ausstrahlungen der Photosphäre eine Decke planetarischer Wolken ausbreitete. Derartige Anschauungen stehen mit den Resultaten der neueren physikalischen Forschung im grellsten Widerspruch, und seitdem der Beweis geliefert worden ist, dafs in der Sonnenatmosphäre infolge höchster Erhitzung Eisen dauernd im gasförmigen Zustande existieren mufs, denkt wohl niemand ernstlich mehr daran, dafs auf der Sonne Organismen ihr Dasein fristen können. In dieser Hinsicht steht die Erde trotz ihrer bescheidenen Gröfse unendlich höher als der gigantische Feuerball der Sonne.

Wir untersuchen nun in dem Folgenden die physischen Zustände der Planeten und stellen uns bei Betrachtung eines jeden namentlich auch die Frage: Ist auf demselben organische Belebung möglich? Indem wir die Erde mit den anderen Planeten vergleichen, werden wir am besten erkennen, was sie ist und was sie sein könnte.

Der Sonne am nächsten ist Merkur. Er ist der kleinste unter den bekannten älteren Planeten; denn sein Durchmesser beträgt nur 643 geogr. Meilen oder etwas mehr als ein Drittel des irdischen. Sein specifisches Gewicht kann noch nicht befriedigend bestimmt werden. Das einzige Verfahren, Merkur zu wiegen, besteht nämlich darin, dafs man aus der stattgefundenen Ablenkung eines Kometen die Planetenmasse durch Berechnung ableitet; diese Methode liefert jedoch nur selten vertrauenswerte Ergebnisse. Vormals hielt man ihn so schwer wie Blei (spec. Gew. 11,3). Aber auch der gegenwärtig allgemein angenommene Wert von 7,9 (Dichtigkeit des Wassers = 1) scheint noch zu hoch gegriffen zu sein; denn aus den Störungen des Enckeschen Kometen in dem Zeitraum von 1818 bis 1875 ergab sich „mit einem hohen Grade von Sicherheit“, dafs die Merkurmasse gleich ist $^1/_{7\,636\,440}$ der Sonnenmasse[1]) und somit ein specifisches Gewicht von nur 4,5 besitzt. Seine Masse ist 0,0425, die der Erde = 1 gesetzt. Hiernach

[1]) E. v. Asten in Heis' Wochenschrift für Astronomie, Meteorologie und Geographie. Bd. XX (1877), S. 41—43.

würde seine Anziehungskraft derartig sein, dafs auf seiner Oberfläche ein irdisches Centnergewicht nur einen Druck von 31 Pfunden auf seine Unterlage ausübt [1]).

Merkur vollendet schon in 88 Tagen (genau 87 T. 23 St. 16 Min.) einen Umlauf um die Sonne, so dafs auf ihm die Zeit von Weihnachten bis zum Johannistage, wenn man so sagen darf, nur gegen sechs Erdenwochen dauert.

Im Mittel ist Merkur 7,7 Millionen geogr. Meilen von der Sonne entfernt; er ist ihr also vergleichsweise nahe. Der gröfste Winkelabstand, bis zu welchem er sich möglicherweise von der Sonne entfernen kann, beträgt 23°. Er ist somit nie bei voller Nacht, sondern nur in der Morgen- und Abenddämmerung sichtbar. Daher kommt es, dafs dieses Gestirn trotz seiner Strahlenmacht in solchen Erdräumen, wo der Horizont auch bei klarem Wetter durch Dünste verschleiert ist, nie mit unbewaffnetem Auge gesehen wird. Der grofse Copernicus klagte noch auf seinem Sterbebette, „dafs er zur Grube fahren müsse, ohne je diesen Planeten erblickt zu haben", den ihm die Nebel der Weichselgegenden auf Lebenszeit verhüllten.

Die Excentricität der Merkurbahn ist bedeutender als die einer anderen Planetenbahn; sie ist gleich 0,206 [2]). Die kleinste Entfer-

[1]) Dieser Wert wird auf folgende Weise ermittelt. Das Gewicht eines Körpers auf der Oberfläche eines Planeten ist die Resultierende aller Anziehungen, welche die den Planeten bildenden Moleküle auf jenen Körper ausüben. Diese Resultierende ist bei einem kugelförmigen Körper — vorausgesetzt, dafs dessen Masse homogen oder wenigstens in gleichem Abstande vom Mittelpunkte überall homogen ist — stets gegen den Mittelpunkt gerichtet; die Gesamtanziehung des Planeten wirkt also gerade so, als ob die ganze Masse desselben im Mittelpunkt vereinigt wäre. Nun ziehen sich zwei Körper mit einer Kraft an, welche ihren Massen direkt und dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist. Setzen wir die Schwerkraft auf der Oberfläche der Erde gleich 1 und bezeichnen wir mit m die Masse, mit ϱ den Halbmesser eines Planeten (beide Werte ausgedrückt als ein gewisses Vielfache der entsprechenden irdischen Gröfsen), so ergiebt sich für die Schwerkraft auf der Oberfläche irgend eines anderen Weltkörpers

$$\Gamma = \frac{m}{\varrho^2}$$

Da nun die Masse Merkurs, verglichen mit derjenigen der Erde. = 0,0425 und sein Radius 0,37 von dem des Erdradius ist, so erhalten wir:

$$\Gamma = \frac{0{,}0425}{0{,}37^2} = 0{,}31.$$

Somit würde ein irdisches Pfund, auf die Merkuroberfläche gebracht, einen Druck auf seine Unterlage ausüben, welcher gleich ist dem Druck von 0,31 Pfund auf der Erdoberfläche.

[2]) Die Excentricität, d. i. die Entfernung der beiden Brennpunkte vom Mittelpunkt der Ellipse, ist hier in Teilen der halben grofsen Achse ausgedrückt.

nung des Merkur von der Sonne beträgt ungefähr 6 Millionen, die gröfste $9\frac{1}{2}$ Millionen geogr. Meilen. Die Licht- und Wärmekräfte, welche ihm die Sonne spendet, sind im Mittel 6,71mal so grofs als diejenigen, welche die Erde erhält. Doch variieren dieselben im Laufe eines Merkurjahres wegen der starken Excentricität seiner Bahn sehr bedeutend; er empfängt nämlich bei seiner Sonnennähe mehr als doppelt so viel Licht als bei seiner Sonnenferne, im ersteren Falle aber 11mal so viel als durchschnittlich die Erde. Selbst bei seiner gröfsten Sonnenferne glüht die Sonne am merkurialen Himmel als eine Scheibe, deren Fläche $4\frac{1}{2}$mal so grofs ist als die der Sonne am irdischen Himmel. Dafs Merkur eine Achsendrehung besitzt, darf nicht bezweifelt werden; dafs er aber, wie Schröter angiebt, seine Rotation in 24 Stunden 5 Minuten 28 Sekunden vollziehe, erheischt noch bessere Bestätigung, und ebenso wenig Zutrauen verdient die Behauptung, dafs die Äquatorialebene des Merkur stärker zu seiner Bahnebene geneigt sei, als dies bei der Erde der Fall ist. Es fehlt uns demnach auch jegliche sichere Kenntnis über die merkurialen Jahreszeiten.

Ob es auf dem Merkur sehr heifs sei nach menschlichen Begriffen, können wir erst bestimmt behaupten, wenn wir wissen, ob Merkur von einem dichten oder dünnen Luftkreis umgeben ist. Wir müssen hier vor allem erst einmal untersuchen, welche Bedeutung die Atmosphäre im Haushalt der Natur hat. Die Atmosphäre besitzt folgende Eigentümlichkeiten: sie läfst zwar die aus einer stark erhitzten Wärmequelle, z. B. aus der Sonne kommenden Strahlen leicht hindurch; dagegen vermag die von der Sonne der Erde mitgeteilte Bodenwärme nicht so leicht wieder rückwärts die Atmosphäre strahlend zu durchdringen und in den Weltraum auszuströmen. Die Atmosphäre verrichtet also in Bezug auf die Sonnenstrahlen gewissermafsen die Dienste eines nach unten sich öffnenden, nach oben sich schliefsenden Ventiles und hält somit die Wärme an der Erdoberfläche fest[1]). Je dünner die Luft ist, desto rascher und leichter gehen die Sonnenstrahlen hindurch, mit anderen Worten: desto weniger wird die Luft von ihnen erwärmt, und desto schneller wird gleichzeitig wieder die Wärme zurückgestrahlt werden und der Boden sich abkühlen. Wäre z. B. die Erde von einem dünnen Luftkreis umgeben, dann würden sich überall auf ihr jene Erscheinungen wiederholen, die Hooker auf dem Himalaya beobachtete, wo das Quecksilber bei 3000 Meter Höhe an einem Dezembermorgen gegen 9 Uhr in der Sonne auf 55,5° C. stieg, während es beschattet und im Schnee auf — 5,6° C. zurückging[2]). Denkt

[1]) J. R. Mayer, Die Mechanik der Wärme. 2. Aufl. Stuttgart 1874. S. 190.
[2]) Hooker, Himalayan Journals. 1st ed. Vol. II, p. 407.

man sich aber die Atmosphäre ganz von der Erde hinweggenommen, so würde die Temperatur des Erdbodens nach Sonnenuntergang und im Schatten schnell zur intensivsten Kälte, zur Temperatur des Weltraumes herabsinken, und wahrscheinlich würde selbst in der tropischen Zone die Mittagssonne nicht mehr im stande sein, das zu Eis erstarrte Wasser zu schmelzen. Somit sind Himmelskörper, die gar keine oder nur eine sehr dünne Atmosphäre besitzen, sicher nicht bewohnt, selbst wenn wir ganz davon absehen wollten, daſs der Ernährungsprozeſs bei keinem Organismus sich ohne den Beistand von Luft vollziehen kann.

Wie steht es nun mit der Lufthülle des Merkur? Sprectroskopische Untersuchungen können in diesem Falle deshalb nicht entscheidend sein, weil Merkur selbst bei seinem gröſsten Winkelabstand von der Sonne nur in der Dämmerung in der Nähe des Horizontes beobachtet werden kann. Infolge dessen war es nicht möglich, den Einfluſs, welchen unsere Atmosphäre auf die bisher an ihm gemachten spectralanalytischen Wahrnehmungen ausgeübt hat, von dem zu scheiden, welchen die etwa vorhandene Atmosphäre des Planeten hervorzubringen vermochte [1]). Manche Astronomen haben dem Merkur eine viel dichtere und stärker mit Wasserdämpfen beladene Lufthülle wie die irdische zugeschrieben; allein wäre er sehr häufig in Wolken gehüllt, dann müſste er weit stärker das empfangene Sonnenlicht zurückwerfen, als es bei klarem Wetter von einer kontinentalen oder oceanischen Oberfläche geschehen würde. Da nun aber das Merkurlicht im Vergleich zu dem anderer umwölkter Planeten schwach ist, so genieſst Merkur sicher mehr „schönes Wetter", als ihm lieb sein dürfte. Zöllner hat dies in seinen „Photometrischen Untersuchungen über die physische Beschaffenheit des Planeten Merkur" [2]) ausdrücklich bestätigt. Er kommt hier (S. 639) zu dem Schlusse: „Der Merkur ist ein Körper, dessen Oberflächenbeschaffenheit mit derjenigen des Mondes sehr nahe übereinstimmt, der also auch, wie der Mond, wahrscheinlich keine merkliche Atmosphäre besitzt." Zöllner weist hier auch darauf hin, daſs bei Merkur die Gröſse der beobachteten Phase stets etwas kleiner ist als die berechnete, während bei der Venus eine solche Abweichung nicht stattfindet, und erblickt die Ursache dieser Verschiedenheit in der Abwesenheit einer Atmosphäre bei Merkur und in dem Vorhandensein einer sehr dichten, mit Wolken erfüllten bei der Venus. Denn eine mit Bergen und Erhebungen bedeckte und seitlich erleuchtete Oberfläche eines Planeten muſs an der Beleuchtungsgrenze

[1]) H. C. Vogel in Poggendorffs Annalen. Bd. CLVIII (1876), S. 462 f.

[2]) Poggendorffs Annalen. Jubelband (1874), S. 624—643; vgl. auch F. Zöllner, Über die Natur der Kometen. Leipzig 1872. S. 105.

durch Schattenwurf eine Verminderung ihrer Phase erleiden: ein Umstand, von dem man sich direkt durch Beleuchtung einer künstlich mit Erhebungen bedeckten Kugel im Vergleich zu einer homogenen Kugel überzeugen kann. Somit ergiebt sich für Merkur der Schlufs: entweder besitzt er gar keine oder eine kaum merkliche Atmosphäre; in beiden Fällen aber kann er menschlichen Vorstellungen nach nicht von organischen Wesen belebt sein.

Unser sonnenwärts gelegener Nachbar, die Venus, würde, was ihre Masse betrifft, der Erde wie ein Zwilling gleichen, wenn sie auch einen Mond hätte. Manche Astronomen, und darunter auch solche ersten Ranges wie Cassini und Short, wollen allerdings einen Venussatelliten mit zwei verschiedenen Fernrohren und vier verschiedenen Okulargläsern erkannt haben. Viermal zwischen dem 3. und 11. Mai 1761 sah Montaigne einen Körper in der Nähe der Venus, welcher die gleiche teilweise Beleuchtung (Phase) wie der Planet wahrnehmen liefs, genau so wie man es von einem Venusmond zu erwarten hätte. Im März 1764 glaubte Rödkier, etliche Tage nach ihm Horrebow und am 15., 28. und 29. März jenes Jahres Montbaron den rätselhaften Begleiter zu erkennen. Zuletzt hat Scheuten in einem Briefe an Lambert vom 14. November 1775 erklärt, bei dem Durchgang der Venus durch die Sonne im Jahre 1761 einen Satelliten dieses Planeten gesehen zu haben [1]). Aber die neuere Zeit mit ihren verbesserten Instrumenten hat keine Spur mehr von einem Begleiter aufgefunden, wenn auch noch immer Astronomen wie Admiral Smyth die Hoffnung auf Entdeckung eines Venussatelliten nicht aufgegeben haben. Beiläufig bemerkt würden auch ohne Mond die Meere der Venus — vorausgesetzt, dafs es solche auf dem Planeten gäbe, — von Flut und Ebbe bewegt werden. Die Flutwelle, welche auf der Venus durch die Zugkraft der Sonne hervorgebracht wird, ist nämlich 2mal so grofs als die Sonnenflutwelle auf der Erde, und da unsere irdische Mondflutwelle allein ungefähr das $2^1/_4$ fache der irdischen Sonnenflutwelle beträgt, so würden die Fluthöhen auf der Venus etwa so hoch sein wie diejenigen auf Erden, welche zwischen Spring- und Nippfluten eintreten.

Der Durchmesser der Venus hat eine Länge von 1626 geogr. Meilen; sie ist also fast so grofs wie die Erde. Setzen wir die Dichtigkeit des Wassers gleich 1, so ist ihre Dichtigkeit 5,07; auch diese kommt also derjenigen der Erde (5,6) ziemlich nahe. Da sich die Masse unseres Planeten zu der der Venus wie 1 : 0,7665 verhält, so haben nach der

[1]) Vgl. hierzu Schorr, Der Venusmond. Braunschweig 1875.

Formel $V = \frac{m}{\varrho^2}$ (s. S. 85, Nota 1) 100 irdische Pfunde auf der Venusoberfläche nur ein Gewicht von 86 Pfunden.

Ihren Umlauf um die Sonne vollendet die Venus in 224 Tagen 16 Stunden 49 Minuten. Manchmal erscheinen äufserst schwache, kaum wahrnehmbare Flecken, aus deren Bewegung man geschlossen hat, dafs sie sich in 23 Stunden 21 Minuten um ihre Achse dreht: eine Rotationszeit, die mit derjenigen der Erde nahezu übereinstimmt.

Unter allen Planetenbahnen hat die Bahn der Venus die geringste Excentricität (0,007). Venus ist im Mittel 14,5 Millionen geogr. Meilen von der Sonne entfernt; der Unterschied zwischen ihrem weitesten und ihrem kleinsten Abstande von der Sonne beträgt nur 200 000 Meilen. Da der Durchmesser der Sonne am Venushimmel etwa um ein Drittel länger erscheint als an dem unsrigen, so ist deren Licht und Wärmewirkung 1,9mal so grofs wie auf Erden, so dafs bei einer im übrigen gleichen planetarischen Verfassung der Tropengürtel der Venus nach unseren Begriffen unerträglich heifs sein müfste.

An der Venus läfst sich befriedigend nachweisen, dafs sie von einer beträchtlichen Lufthülle umgeben ist. Hätte nämlich Venus keine Atmosphäre, so müfsten zur Zeit, wo sie als Sichel sichtbar ist, Licht- und Schattenseite wie beim Monde scharf gegen einander abgegrenzt sein. Die Beobachtungen aber haben ergeben, dafs das blendende Licht der Venussichel sich allmählich gegen die Nachtseite der Venus hin verliert und dafs einzelne Lichthörner über den Halbkreis noch hinausragen. Dies ist aber nur möglich, wenn aufser dem Planeten auch eine Lufthülle beleuchtet wird, die lichtbrechende Wirkung äufsert, die also nach dem Untergang der Sonne dem Planeten eine Dämmerung verleiht. „Bei einer Gelegenheit“, berichtet uns Secchi[1]), „als sich Venus in der unteren Conjunction befand und folglich ihre Sichel auf einen sehr feinen Lichtfaden reduziert war, liefs sich ungeachtet der Feinheit ihrer Spitzen doch deutlich erkennen, dafs die Sichel mehr als einen halben Kreisumfang und volle 18 Grad mehr einnahm, als es ohne Einwirkung der Dämmerung hätte der Fall sein müssen. Man hat sogar in einigen solchen Fällen die ganze dunkle Scheibe beleuchtet zu sehen geglaubt und Lichtscheine wahrgenommen, welche mit unseren Polarlichtern Ähnlichkeit hatten.“ Auch die Untersuchungen Vogels über die Venusatmosphäre haben zu ähnlichen Ergebnissen geführt[2]). Er spricht das Resultat seiner zahlreichen,

[1]) A. Secchi, Die Sonne. Übers. von Schellen. Braunschweig 1872. S. 695.

[2]) Beobachtungen, angestellt auf der Sternwarte des Kammerherrn

sorgfältigen Beobachtungen in folgenden Worten aus: „Das nebelartige, verschwommene Aussehen der Flecke, sowie die — besonders zu der Zeit, wo die Venus als Sichel erscheint, — auffallende Abnahme des Lichtes nach der Beleuchtungsgrenze machen es sehr wahrscheinlich, dafs der Planet von einer Atmosphäre umgeben ist, in der eine sehr dichte und dicke Schicht von Kondensationsprodukten schwebt, und dafs die Aufhellungen in dieser Schicht nie so weit gehen, dafs sie deutlich markierte Flecken auf der Venusscheibe bedingen oder einen Durchblick auf die Oberfläche des Planeten gestatten.“ Die lichtbrechende Wirkung der Venusatmosphäre ist um $^1/_3$ stärker als die des irdischen Luftkreises.

Das Spectrum der Venus stimmt im wesentlichen mit dem der Sonne überein. Einige Linien, insbesondere die Natriumlinien, erscheinen etwas verbreitert; auch treten im Venusspectrum mehrere Streifen hinzu, deren Identität mit denjenigen im Absorptions-Spectrum unserer Atmosphäre nicht zu verkennen ist. Da sie jedoch sehr schwach sind, so müssen wir annehmen, dafs die Sonnenstrahlen nur wenig in die atmosphärische Hülle der Venus einzudringen vermögen und zum gröfsten Teil an der Wolkenschicht derselben reflektiert werden [1]. Auf Grund der bisherigen spectralanalytischen Untersuchungen des Venuslichtes darf man annehmen, dafs Venus von einer im allgemeinen gleichartig gemischten Lufthülle umgeben ist wie unsere Erde

Nach alledem könnte Venus organisch belebt sein; undenkbar hingegen wird dies, wenn, wie es wahrscheinlich ist, ihr Äquator eine Neigung von 75 Grad gegen ihre Bahnebene hat [2]. Infolge dieses Mifsverhältnisses würden sich ihre Polarzonen bis auf 15 Grad dem Äquator und umgekehrt ihre Wendekreise bis auf 15 Grad den Drehungspolen nähern. Ein Bewohner der Venus in der Nähe eines ihrer Pole würde also im Hochsommer zur Mittagszeit die Sonne senkrecht über sich sehen, und sie würde dann fast das Doppelte von Licht und Wärme über ihn ausströmen als auf Erden um Mittag die Tropensonne. Dann folgte aber ein erbarmungsloser Winter, wo die Sonne drei Erdenmonate lang entweder gar nicht oder nur auf kurze Zeit und wenig hoch über dem Horizont sichtbar wäre. Die Bewohner der Äquatorialzone der Venus würden im Frühling und im Herbst während der Nachtgleiche zu Mittag die senkrechten Pfeile der

v. Bülow zu Bothkamp. Heft 2. Herausgegeben von H. C. Vogel, Astronom der Sternwarte. Leipzig 1873. S. 125.

[1]) Poggendorffs Annalen. Bd. CLVIII (1876), S. 464.

[2]) Nach de Vico beträgt dieser Winkel nur 53° 12′. Secchi, l. c. S. 695.

Sonnenstrahlen zu ertragen haben, deren Strahlenmacht fast doppelt so kräftig wäre wie unter gleichen Verhältnissen auf Erden. Zur Sommerzeit würde die Sonne zwar fast den ganzen Tag am Himmel bleiben, jedoch sich nie hoch über den Horizont erheben. Zur Winterzeit dagegen träte ein ganz kurzer Tag ein, während dessen sich die Sonne selbst um Mittag nur wenig über den Horizont emporschwingen könnte, so dafs eine Kälte herrschen müfste wie etwa an den irdischen Polarkreisen. Freilich ist die hier vorausgesetzte starke Neigung der Drehungsachse des Planeten Venus noch nicht bestimmt erwiesen. Wäre die Stellung seiner Achse günstiger, so dürfte man die Vermutung aussprechen, dafs organisches Leben auf ihm bestehen könnte.

Die gröfste physische Ähnlichkeit mit unserem Planeten besitzt unstreitig der äufsere Nachbar der Erde, Mars.

Sein Durchmesser beträgt 928 geogr. Meilen oder etwa $^{27}/_{50}$ des irdischen; seine Oberfläche verhält sich also zu derjenigen der Erde etwa wie 1 : 3. Somit ist die Quadratmeilenzahl des Mars nicht viel gröfser als die aller Festlande unseres Planeten ohne die Meere. Seine Dichtigkeit ist 3,75 mal so grofs als die des Wassers [1]). Die Zugkraft an der Oberfläche des Mars, für dessen Masse wir den Wert 0,1055 erhalten, wenn wir die Masse der Erde als Einheit annehmen, ist bedeutend geringer als die an der Erdoberfläche; 100 terrestrische Pfundgewichte würden dort nur einen Druck von c. 36 Pfund ausüben.

Sein Jahr hat eine Länge von 686 Tagen 23 Stunden 30 Minuten. Folglich würde ein akademisches Semester auf dem Mars $11^1/_3$ irdische Monate dauern. Aus der Bewegung der Marsflecken hat man gefolgert, dafs dieser Planet seine Achsendrehung in 24 Stunden 37 Minuten 23 Sekunden vollendet.

Seine Bahn hat nächst der des Merkur die bedeutendste Excentricität; diese ist gleich 0,093. Da das Centrum der Marsbahn über $2^1/_2$ Millionen geogr. Meilen von der Sonne entfernt ist, so empfängt Mars bei seiner gröfsten Sonnennähe beinahe $1^1/_2$mal so viel Licht und Wärme als bei seiner gröfsten Sonnenferne. Der mittlere Abstand des Mars von der Sonne beträgt 30,5 Millionen geogr. Meilen; an Sonnenkräften (Licht und Wärme) erhält er durchschnittlich nur 0,43 mal so viel als die Erde. Da auf dem Mars das Jahr weit länger ist, da ferner sein Äquator mehr gegen die Bahn geneigt (nach Schiaparelli 24° 52') und deren Excentricität gröfser ist als bei der Erde, so müssen auch die Jahreszeiten auf dem Mars viel schärfere Temperaturgegensätze aufweisen als auf Erden.

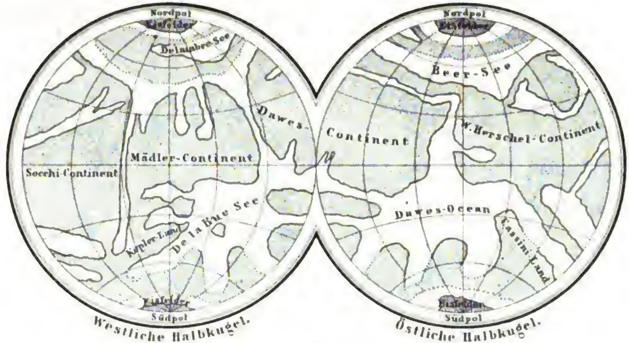
[1]) Berechnet aus dem von Pritchett gefundenen Werte der Marsmasse (= $^1/_{3075440}$ der Sonnenmasse). Astronomische Nachrichten. Bd. XCIII (1878), Nr. 2232, Sp. 377—380.

Dem unbewaffneten Auge erscheint Mars als eine rötliche Scheibe; im Fernrohr aber sieht man, dafs die genannte Farbe nur bestimmten Gebieten eigen ist, zwischen denen grünliche Strecken golf- und mittelmeerartig eingeschaltet liegen. Vielmals mifslang der Entwurf von Marskarten. Zur Zeit der Opposition im Jahre 1862 richteten viele hervorragende Beobachter, so Secchi, Lassell und Lord Rosse, ihre mächtigen Teleskope nach dem Mars; aber ihre Zeichnungen widersprachen sich so, dafs ihnen kein Wert beigemessen werden konnte. Dagegen erwiesen sich damals und bei der Opposition im Jahre 1864 Instrumente mit geringerer Vergröfserungskraft als vortrefflich; mit Hilfe derselben entwarfen Lockyer, Kaiser, Schmidt und Philipps, sowie Dawes, der jedoch stärkere Vergröfserungen anwandte, ziemlich gut übereinstimmende Skizzen. Die beifolgende Marskarte (Fig. 14) giebt uns ein Bild der Marsoberfläche, wie es Proctor auf Grund der Zeichnungen Dawes' lieferte [1]). Sind jene rötlichen Stellen auf der Marsoberfläche Festland, die grünlichen aber Seen, so besteht auf dem Mars zwischen Land und Meer das umgekehrte Verhältnis wie auf Erden; denn das trockene Land nimmt mehr als den doppelten Raum ein wie das mit Wasser bedeckte. Merkwürdig sind die langen dunklen Linien auf der Marsoberfläche, die sogenannten „Kanäle"; zu manchem von ihnen gesellte sich nach Schiaparellis Beobachtungen im Januar und Februar 1882 oft ziemlich rasch ein neuer, dem ersten parallel gehender Kanal, der aber nach Ablauf einer gewissen Periode wieder verschwand. Häufig zeigt Mars jedoch seine Landkarten gar nicht, sondern ist wie mit einem Schleier umhüllt. Diesen Schleier hält man für einen wässerigen Dunstkreis. Gewöhnlich schimmert auch Mars an seinen westlichen und östlichen Rändern viel heller und weifslicher. Dies würde auf Wolken deuten, die man je näher dem Rande, desto mehr tangential sähe. Was uns aber ganz besonders auf dem Mars anheimelt, sind die beiden weifsen kreisförmigen Flecken an seinen beiden Polarzirkeln, welche noch dazu regelmäfsig wachsen und abnehmen, je nachdem der eine oder der andere Polarzirkel in seine meteorologische Winter- oder Sommerzeit eintritt. Unzweifelhaft dürfen wir sie für Schnee- und Eisansammlungen halten, und um so wahrscheinlicher wird es nun, dafs die grünen Gebiete auf der Marsscheibe Meere sind.

Dafür, dafs Mars von einer mit Wasserdampf erfüllten Luft um-

[1]) Die von Schiaparelli seit 1877 mit grofser Sorgfalt entworfene Marskarte (zuerst publiziert in den Atti della reale Accademia dei Lincei. Ser. III, Vol. IX, 1878) stellt zwar die Marsoberfläche genauer dar, schliefst aber zur Zeit noch die polaren Gebiete, sowie beträchtliche Teile der gemäfsigten Zonen aus.

Fig. 14.



Marskarte
(nach Dawes und Proctor).

hüllt ist, besitzen wir übrigens noch einen direkten Beweis. Am 14. Februar 1867 untersuchte Huggins das Marslicht mit einem Spectroskop. Mars, als nicht selbst leuchtend, mufs uns ein Sonnenfarbenbild liefern, das heifst eine Regenbogenskala mit den schwarzen Fraunhoferschen Linien. Das Sonnenlicht, welches uns Mars zurückwirft, mufs jedoch zuerst eine Dunsthülle des Planeten auf dem Wege von der Sonne zum Mars und abermals vom Mars zur Erde durchstreifen, und in dieser Lufthülle müssen neue Absorptionen stattfinden, oder mit anderen Worten: zu den Fraunhoferschen Linien müfsten sich noch etliche neue gesellen. In der That wurde auch das martialische Spectrum in seinem Orangeband von einer Gruppe schwarzer Linien durchzogen, welche genau derjenigen entsprach, die sich im Sonnenspectrum am Abend einfindet, wenn die Strahlen unseres Tagesgestirns bei dessen tieferem Stande einen weiteren Weg durch die dichteren Schichten unserer Lufthülle zurückzulegen haben. Um ganz sicher zu sein, dafs die Gruppe jener entdeckten Linien martialischen Ursprungs sei und nicht etwa von einem zufällig während der Beobachtung herrschenden meteorologischen Zustande unseres Luftkreises herrühre, richtete Huggins sein Spectroskop gegen die Scheibe des Mondes, der damals dem Horizont näher stand als Mars und uns daher sein Licht durch die Luftschichten schräger zusandte. Allein nichts von den martialischen Absorptionsstreifen war sichtbar. Wir wissen also jetzt zuverlässig, dafs die Lufthülle des Mars hinsichtlich ihrer Zusammensetzung der irdischen ähnlich ist[1]). Vogels neuere Untersuchungen haben zu gleichen Ergebnissen geführt[2]).

Auch mufs die Atmosphäre des Mars durch ähnliche Strömungen bewegt werden wie die irdische. Nur dürfen wir uns die Passate auf dem Mars nicht so stark abgelenkt denken wie auf Erden; denn da jener Planet einen kleineren Durchmesser besitzt als der unsrige und die Dauer einer seiner Umdrehungen etwas länger währt als eine irdische, so ist auch seine äquatoriale Drehungsgeschwindigkeit beträchtlich geringer. Wir können noch hinzufügen, dafs, da die Winde durch die Sonnenwärme entstehen und Mars viel weniger stark besonnt wird, auch die Vorgänge in seinem Luftmeer viel sanfter erfolgen müssen. Giebt es auf der Marsoberfläche Berge und Thäler, so mufs auch, da Regen vorhanden ist, die Erosion wirksam sein. Endlich dürfen wir auch erwarten, dafs die Marsmeere von Ebbe und Flut bewegt werden, da Hall in Washington am 11. und 17. August 1877 zwei Marsmonde entdeckt hat. Kurz, wenn irgend ein Planet

[1]) Proctor, l. c. p. 95 sq.
[2]) Poggendorffs Annalen. Bd. CLVIII (1876), S. 465 f.

hinsichtlich seiner physischen Verhältnisse der Erde ähnlich ist, so ist es Mars; menschlichen Vorstellungen nach dürfte er wohl geeignet erscheinen, ein Schauplatz organischen Lebens zu sein.

Jenseits des Mars umkreisen die Planetoiden die Sonne. Sie wurden alle erst in diesem Jahrhundert entdeckt (zuerst Ceres am 1. Januar 1801), und obwohl man gegenwärtig (September 1883) bereits 234 kennt, so ist uns doch sicher eine grofse Anzahl derselben noch unbekannt. Sie sind alle teleskopisch (nur Vesta ist bisweilen mit unbewaffnetem Auge sichtbar) und gehören zu den kleinsten astronomischen Objekten. Ihr Durchmesser läfst sich nur in wenigen Fällen durch direkte Messung bestimmen; je kleiner derselbe ist, desto störender wirkt die Irradiation auf eine genaue Messung desselben. Man mufs sich deshalb meistens begnügen, die Gröfse der Planetoiden aus einer photometrischen Vergleichung derselben zu berechnen. Hiernach ergiebt sich für Vesta, den gröfsten dieser kleinen Planeten, ein Durchmesser von 58,5 geogr. Meilen[1]), für Hestia, einen der kleineren, von 3,3 geogr. Meilen. Der Umfang der letzteren beträgt also nur wenig über 10 Meilen (eine Weglänge, welche ein Eisenbahnschnellzug in $1\frac{1}{2}$ Stunde zurücklegt), und ihre Oberfläche (34 Quadratmeilen) ist so grofs wie diejenige der vereinigten beiden Fürstentümer Schwarzburg. Die Massen der Planetoiden sind so gering, dafs sie in ihrer Gesamtheit noch nicht den dritten Teil der Erdmasse ausmachen.

Ihren Weg um die Sonne vollenden sie in sehr ungleichen Zeiträumen; so umfafst ein Jahr der Medusa (149) 1138, der Hilda (153) 2868 Tage.

Die Bahnen der Planetoiden sind zum Teil stark excentrisch; so ist die Excentricität der Chryseïs (202) 0,394, der Aethra (132) 0,380. Die geringste Excentricität, 0,005, hat die Bahn der Philomele (196). Medusa hat den kleinsten und Hilda den gröfsten mittleren Abstand von der Sonne; ersterer ist 2,13, letzterer 3,95, wenn man den Abstand der Erde von der Sonne gleich 1 setzt.

Olbers[2]) hat die Vermutung ausgesprochen, dafs die Asteroidenschar durch Explosion eines gröfseren Planeten entstanden sei; Laplace hingegen läfst sie aus einem Nebelring sich bilden, der, statt in einen Körper zusammenzufallen, in zahlreiche Fragmente auseinander stob. Beide Ansichten können bis jetzt weder bestätigt noch widerlegt werden.

Über die physische Beschaffenheit der Planetoiden fehlen uns

[1]) Lamont fand durch direkte Messung den Durchmesser der Pallas = 146 geogr. Meilen; doch ist diese Gröfse von zweifelhaftem Werte. Vgl. J. H. v. Mädler, Geschichte der Himmelskunde. Braunschweig 1873. Bd. II. S. 440 f.

[2]) Zachs monatl. Corresp. Bd. VI. p. 88.

jegliche Erkenntnisse; doch dürfen sie wegen ihrer Kleinheit kaum als geeignete Wohnplätze für organisches Leben angesehen werden.

Überschreiten wir die Zone, in welcher sich die Asteroiden bewegen, so gelangen wir zu dem Riesen unter den Planeten, zu Jupiter. Sein Äquatorialdurchmesser (der Polardurchmesser ist um $^1/_{15,8}$ kleiner) hat eine Länge von 19 184 geogr. Meilen und ist demnach $11^1/_6$ mal so grofs als derjenige der Erde. Seine Oberfläche übertrifft die der Erde um das 117fache; nicht weniger als 1262 Erden würden, falls sie dehnsam wären, in dieser Riesenkugel Raum finden. Setzen wir die Schwere des Wassers = 1, so ist die des Jupiter = 1,37; seine Dichtigkeit verhält sich also zu der der Erde (5,6) wie 0,245 : 1. Seine Masse ist 310 mal so grofs als die der Erde [1]) und

[1]) Die Masse eines Himmelskörpers, der, wie Jupiter, Satelliten besitzt, deren Bahnen genau bestimmt sind, berechnet man in folgender Weise. Jeder Satellit steht unter dem Einflufs zweier Kräfte: vermöge der einen, der Centrifugalkraft, würde er sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf einer Geraden fortbewegen und sich immermehr von dem Planeten, dem er angehört, entfernen. Vermöge der anderen Kraft jedoch, der Anziehungskraft des Planeten, wird er sich diesem nähern. Die letztere zwingt also den Satelliten, von seiner geradlinigen Bahn abzuweichen und eine elliptische Bahn um den Planeten zu beschreiben. Wir kennen nun für jeden Moment die Richtung, in welcher sich der irdische Mond bewegt: es ist die Gerade, welche die Ellipse in dem Punkte, wo sich der Mond befindet, berührt; wir kennen ferner den Punkt, bis zu welchem er auf dieser Geraden in der nächsten Sekunde gelangen würde, da nach dem zweiten Gesetze Keplers die Geschwindigkeit bekannt ist; endlich kennen wir auch den Punkt, bis zu welchem er innerhalb derselben Sekunde wirklich gelangt. Der letzte ist der Erde näher als der erste, und der Abstand beider Punkte ist das Mafs für die Anziehung des Mondes durch die Erde. Dasselbe giebt uns zugleich an, wie weit jeder Körper, sich selbst überlassen, in einer Sekunde gegen die Erde fallen würde, wenn er eben so weit wie der Mond von der Erde entfernt wäre. Wir bezeichnen der Kürze wegen diese Gröfse als „Fall des Mondes gegen die Erde“. Sie ist gleich 0,0014 Meter. Der Fall an der Erdoberfläche beträgt 4,9 Meter, ist also 3600 mal so grofs, was genau mit der Thatsache übereinstimmt, dafs der Mond vom Erdmittelpunkt 60 Erdhalbmesser entfernt ist; denn die Anziehung nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab. Will man nun beispielsweise die Masse Jupiters mit derjenigen der Erde vergleichen, so hat man in dem „Fall eines Jupitermondes“ gegen Jupiter ein genaues Mafs. Derselbe ist z. B. für den zweiten Mond gleich 0,146 Meter in der Entfernung von 89 700 geogr. Meilen vom Jupitermittelpunkt. Da nun der Mond c. 52 000 geogr. Meilen von der Erde entfernt ist und die Anziehungskraft eines Himmelskörpers dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist, so würde der Fall jenes Jupitermondes nach dem Jupiter in dieser Entfernung gröfser sein; er würde den Wert 0,434 Meter erhalten. Während also der Fall gegen die Erde in der Entfernung des Mondes 0,0014 Meter beträgt, ist er in gleicher Entfernung von Jupiter 0,434 Meter; er ist also 310 mal so grofs; somit ist auch die Masse Jupiters 310 mal so grofs als diejenige der Erde. Vgl. hierzu Zech, Himmel und Erde. München 1870. S. 141—143.

gegen $2^1/_2$mal so grofs als die Masse sämtlicher übrigen Planeten. Würde die Sonne zufällig dem Planetensystem entrückt, so würde demnach Jupiter die Führung der Planetenschar übernehmen und deren Glieder zwingen, ihn zu umkreisen. Im Mittel ist die Schwerkraft an seiner Oberfläche mehr als $2^1/_2$mal so stark als auf Erden, so dafs ein Mensch, der einen Centner wiegt, an der Oberfläche des Jupiter sich mit solcher Anstrengung bewegen müfste, als hätte er noch ein Übergewicht von $1^1/_2$ Centnern eingeschluckt.

Seinen Lauf um die Sonne vollendet Jupiter in 4332 Tagen 14 Stunden 2 Minuten, also in nahezu 12 Erdenjahren, so dafs auf dem Jupiter die Länge eines „Monats" fast ein irdisches Jahr beträgt. Er vollführt in 10 Stunden (genauer in 9 Stunden 55 Minuten 35,2 Sekunden) eine Umdrehung; seine äquatoriale Geschwindigkeit ist also 27mal $\left(\frac{11^1/_6 . 24}{10} = 27\right)$ gröfser als die irdische. Die Sonne braucht auf Erden am Äquator 2 Minuten, um aufzugehen oder einen Weg zurückzulegen, der so grofs ist wie ihr scheinbarer Durchmesser. Auf dem Jupiter ist ihr Durchmesser 5mal kleiner (also gleich 6 Bogenminuten) und ihre scheinbare Geschwindigkeit $2^1/_2$mal gröfser; daher geht die Sonne am Äquator des Jupiter in 10 Sekunden auf.

Die Excentricität seiner Bahn beträgt 0,048; seine Entfernung von der Sonne, welche zwischen 100 und 110 Millionen geogr. Meilen variiert, ist über fünfmal so grofs als der Abstand der Erde von der Sonne. Er empfängt infolgedessen auch nur $^1/_{28}$ der Licht- und Wärmekräfte von der Sonne, wenn man dieselben Kräfte auf der Erde mit dem Werte 1 bezeichnet. Seine Drehungsachse steht fast senkrecht auf seiner Bahnebene; daher ist seine Tropenzone nur 6 Grad breit, und seine Polarkreise entfernen sich nur je 3 Grad von den Polen.

Jupiter erfreut sich des Anblickes von vier Monden; man sollte also meinen, dafs seine Nächte prächtig erhellt wären. In der That haben Astronomen behauptet, dafs vor lauter Mondlicht die Pracht des Sternenhimmels von Jupiter aus nicht genossen werden könnte. Diese Vermutung ist indessen völlig verkehrt. Der erste und innerste Mond des Jupiter erscheint, von diesem Planeten aus gesehen, ein wenig gröfser als unser Trabant; der zweite Mond hat nur einen halb so grofsen scheinbaren Durchmesser wie Luna; der dritte (von allen in Wirklichkeit der gröfste) kommt scheinbar dem zweiten gleich; der vierte aber hat einen scheinbaren Durchmesser von einem Viertel des lunaren. Würden die vier Scheiben der Jupitersatelliten in eine einzige vereinigt, so hätte diese den anderthalbfachen scheinbaren Durchmesser wie unser Mond; allein da sie mehr als fünfmal so weit von der Sonne entfernt sind wie dieser und daher nur $^1/_{28}$ von der Besonnung unseres

Trabanten empfangen, so kann der Lichtschein, den sie nach dem Jupiter zurückwerfen, nur $^1/_{12}$ unseres Vollmondlichtes betragen. Nichts in ihren Bewegungen verhindert sie, zu gleicher Zeit am Himmel des Jupiter zu erscheinen. Allein in diesem Falle kann nur ein einziger von den inneren drei Monden voll gesehen werden; die anderen erfahren eine Abschwächung durch Lichtphasen. Ferner erleiden die drei inneren Monde immer, wenn sie voll sein sollten, eine Verfinsterung. Bei dem vierten ist dies auch die Regel; doch entwischt er wegen seiner gröfseren Entfernung öfter dem Schattenkegel des Hauptkörpers. Die beiden inneren Trabanten werden jedesmal über zwei Stunden lang verfinstert; somit leuchten sie, da die Nacht auf dem Jupiter nur fünf Stunden dauert, überhaupt nur wenige Stunden am Himmel.

Auf mehr als 5 Erdenabstände von der Sonne entfernt erhält Jupiter, wie bereits oben bemerkt, von dieser nur $^1/_{28}$ der irdischen Besonnung. Schon deswegen würde er wohl niemals eine geeignete Stätte für Erweckung organischen Lebens sein. Englische Philosophen haben in teleologischem Eifer ausfindig gemacht, dafs es dennoch auf dem Jupiter so warm sein könne wie auf Erden, wenn er eine 5 Centimeter mächtige, mit Schwefeläther gesättigte Atmosphäre besäfse. Diese würde nämlich alle Strahlen der Sonne fast ungeschwächt hindurch gehen lassen, aber 35 Prozent der vom Boden ausgestrahlten Wärme zurückbehalten. Indessen dürfte es noch sehr fraglich sein, ob selbst unter den angenommenen Verhältnissen $^1/_{28}$ der irdischen Besonnung ausreichen würde zur Erweckung und Erhaltung organischen Lebens, da am Äquator des Jupiter die Sonnenwärme nur so viel Intensität besitzt wie etwa jenseits des 86. Breitengrades auf Erden. Übrigens deutet nichts auf die Existenz einer derartigen Lufthülle hin.

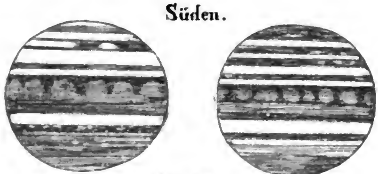
Wie steht es nun thatsächlich mit der Jupiter-Atmosphäre? Ohne Zweifel ist eine solche vorhanden; auch wissen wir, dafs sie im allgemeinen von derselben chemischen Zusammensetzung ist wie die irdische. Das Jupiterspectrum zeigt nämlich zahlreiche Absorptionsstreifen, welche mit denen des Sonnenspectrums zusammenfallen; in dem Bereiche des Rot kommen jedoch auch etliche starke Linien vor, welche der Erdatmosphäre fremd sind, welche also andeuten, dafs die Jupiter-Atmosphäre Gase und Dämpfe enthält, die sich in der irdischen Lufthülle nicht vorfinden. Indessen können jene dem Jupiterspectrum eigenartigen Linien auch eine Folge davon sein, dafs das Mischungsverhältnis der Gase ein anderes ist als in unserer Atmosphäre. Es wäre sogar denkbar, dafs bei gleichem Mischungsverhältnis und nur anderen Temperatur- und Druckverhältnissen, die ja auf dem Jupiter

gegeben sind, das Absorptionsspectrum des Gasgemisches in dieser Weise verändert würde [1]).

Jupiter erscheint uns beständig in Wolken gehüllt, deren Gestalt sich fortwährend verändert. Nur die Tropenzone oder der mittlere Gürtel des Planeten läfst sich als Ganzes stets unterscheiden. An ihren beiden Polarrändern ist diese Zone dunkel gesäumt, und jenseits dieser Säume folgt auf der nördlichen Hälfte gewöhnlich ein doppelter heller Streifen, auf der südlichen ein einfacher breiter, heller Streifen in den Räumen, die man die Passatgürtel nennen könnte. Diese Parallelbänder wechseln sehr rasch, oft im Laufe von ein paar Stunden, ihre Breite. Allein es bleibt immer schwierig zu trennen, was eine wirkliche plötzliche physische Veränderung gewesen ist und was nur optisch durch die rasche Umdrehung verursacht wurde, indem neue Regionen des Jupiter in das Gesichtsfeld eintraten, während andere verschwanden. Im Jahre 1869 bemerkte T. W. Webb auf dem bräunlichen oder gelblichen Hintergrunde nach den dunklen Säumen der Tropenzone zu wie ausgewaschene Lichter in einer Aquarellmalerei wolkenförmige, meist runde, ausgebauchte Bildungen, bisweilen ein wenig nach Osten gerichtet, dann auch wieder schleifenförmig oder guirlandenartig geordnet. Zeitenweise konnte man deren 16 bis 18 auf der Äquatorialzone zählen. An einem Abend, am 16. November, waren jedoch merkwürdiger Weise nur 6 gröfsere sichtbar, und diese bildeten eine Brücke mit Pfeilern und Bogen (Fig. 15a). In der nächsten Nacht um die nämliche Zeit, als sich der Planet etwa 150 Längengrade um seine Achse gedreht hatte, also beinahe seine andere Halbkugel zeigte, waren ein halbes Dutzend elliptischer heller Flecken zu sehen, die auf dem dunklen Hintergrund wie gewölbte Körper erschienen (Fig. 15b) [2]).

Fig. 15.

Süden.



a. Norden. b

Jupiter

am 16. November 1869. am 17. November 1869.

Dafs jene hellen, in steter Umbildung begriffenen Massen wolkenähnliche Gebilde sind, ist wohl kaum zu bezweifeln. Vielfach hat man

[1]) Vogel in Poggendorffs Annalen. Bd. CLVIII (1876), S. 467.

[2]) Ausland 1870, S. 502.

nun die dunklen, zonenartigen Streifen, die quer über seine Scheibe ziehen, für den festen Kern des Planeten gehalten, welcher durch Öffnungen in den Wolken sichtbar werden sollte. In diesem Falle müfsten jedoch die hellen Zonen am Rande ein wenig die dunklen überragen, wenn das Luftmeer besonders tief wäre; doch ist hiervon nichts zu bemerken. Die oben geschilderten Erscheinungen, insbesondere die jähen Veränderungen in seiner Lufthülle, hinterlassen vielmehr den Eindruck, dafs Jupiter, der uns im Vergleich zu der stark verdichteten Erde als etwas Unfertiges und Jugendliches erscheint, noch eine glühende Masse sei, siedend, brodelnd und beständig Dämpfe ausstofsend, welche infolge der hohen Drehungsgeschwindigkeit als parallele Zonen oder Bänder an der Planetenscheibe gesehen werden. Für die Glutflüssigkeit Jupiters spricht besonders noch folgender Grund. Alle Bewegungen in der irdischen Atmosphäre werden durch die Sonnenwärme hervorgerufen. Dieser Kraftquell aber wirkt auf Jupiter 28mal so schwach als auf Erden und erweist sich somit ganz unfähig zu jenen mächtigen Störungen der Jupiteratmosphäre. Demnach mufs die Ursache derselben unbedingt in der hohen eigenen Temperatur Jupiters gesucht werden. Wie Mars der Erde, so ist Jupiter der Sonne am ähnlichsten; ja, es ist uns verstattet anzunehmen, dafs dieser Planet einen merklichen Betrag von Wärme nach seinen Trabanten ausstrahlt. Doch sind die Jupiterwolken keineswegs ein so stark und selbstleuchtender Lichtmantel wie die Sonnenwolken, woraus wir schliefsen dürfen, dafs die Eigenwärme des Jupiter nicht völlig hinreicht, solche Stoffe, die in flüssigem Zustand weifs glühen, in die Gasform überzuführen.

Die Glutflüssigkeit Jupiters läfst sich auch aus den ihm eigenen Lichtverhältnissen ableiten. Da bei bekannter Gröfse und Entfernung eines Planeten von der Sonne die Menge des Lichtes bekannt ist, welche der Planet erhält, und da ferner die Lichtmenge, welche er uns zusendet, gemessen werden kann, so läfst sich auch die Lichtmenge berechnen, welche gleich grofse Flächen verschiedener Planeten bei gleichem Sonnenabstande zurückwerfen würden, d. h. ihre lichtreflektierende Kraft. Zöllners photometrische Untersuchungen[1]) haben uns gelehrt, dafs Jupiter der Erde zwar nicht mehr Licht zusendet, als er von der Sonne empfängt, doch aber verhältnismäfsig weit mehr Licht als z. B. Mars oder unser Mond, wenn sie sich an der Stelle des Jupiter bewegen sollten. Mars beispielsweise giebt nur ein Viertel

[1]) Photometrische Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die physische Beschaffenheit der Himmelskörper. Leipzig 1865. S. 163 ff. 270 ff. 293 ff. — und: Photometrische Untersuchungen über die physische Beschaffenheit des Planeten Merkur in Poggendorffs Annalen. Jubelband (1874), S. 624—643.

von dem empfangenen Sonnenlicht zurück, der Mond ein Achtel, Saturn die Hälfte, Jupiter dagegen drei Fünftel[1]). Jupiter sendet so viel Licht aus wie eine gleich grofse Kugel von Quecksilber oder weifsem Papier. Es ist nun kaum anzunehmen, dafs Jupiter so viel Sonnenlicht reflektiert, zumal ein grofser Teil seiner Scheibe teils grau, teils gelb, teils blafs kupferrot uns erscheint; somit ist Grund vorhanden zu der Annahme, dafs nicht alles von ihm kommende Licht zurückgeworfen ist, sondern dafs er auch einen Teil eigenes Licht abgiebt, dafs er folglich gewaltig erhitzt sein mufs.

Diese Annahme stöfst indessen auf einige Schwierigkeiten. Die Schatten der Monde auf der Jupiterscheibe erscheinen nämlich völlig schwarz; doch entsteht dieser Eindruck wohl nur durch den Kontrast zwischen der hellen und der verdunkelten Fläche. Ferner werden die Monde, sobald sie in den Jupiterschatten treten, für uns völlig verfinstert. Das Licht, welches sie von dem Planeten empfangen, ist daher jedenfalls ein sehr schwaches. Hierfür spricht auch der mit Hilfe des Spectroskops sehr sicher geführte Nachweis, dafs Wasserdampf in der Atmosphäre Jupiters enthalten ist; demnach herrschen dort Temperaturen, welche eine namhafte Leuchtkraft ausschliefsen.

Immerhin ist es sehr wahrscheinlich, dafs Jupiter zur Zeit noch kein geeigneter Schauplatz für organische Regungen ist, und wir dürfen zweifeln, ob er es jemals werden kann.

Noch mehr gilt dies von Saturn.

Sein Äquatorialdurchmesser beträgt 15680, sein um $^1/_{10}$ kürzerer Polardurchmesser dagegen nur 14112 geogr. Meilen; im Mittel ist demnach sein Durchmesser 8,68 mal so grofs als der mittlere Durchmesser der Erde. Das Volumen Saturns verhält sich zu dem unseres Planeten wie 654 zu 1. Verglichen mit Wasser ist die Dichtigkeit Saturns 0,79; er würde somit nicht blofs in Wasser, sondern unter Umständen sogar in raffiniertem Petroleum (specif. Gewicht 0,78 bis 0,82) noch schwimmen. Setzen wir die Dichtigkeit der Erde gleich 1,

[1]) Nach Zöllner (Pogg. Annalen, l. c. S. 641. 636 f.) haben die Planeten, sowie einige irdische Stoffe folgende Albedo (d. i. das Verhältnis des zurückgeworfenen zu dem auffallenden Lichte):

Merkur	0,114	Frisch gefallener Schnee	0,783
Venus	0,623	Weifses Papier . . .	0,700
Mond	0,119 ± 0,003	Weifser Sandstein . .	0,237
Mars	0,267 ± 0,016	Thonmergel	0,156
Jupiter	0,624 ± 0,036	Quarzporphyr	0,108
Saturn	0,498 ± 0,025	Feuchte Ackererde . .	0,079
Uranus	0,641 ± 0,054	Dunkelgrauer Syenit .	0,078
Neptun	0,465 ± 0,037		

so ergiebt sich für die Saturns 0,14. Seine Masse ist daher nur 92mal so grofs als die der Erde. Ein irdisches Centnergewicht würde auf Saturn einen Druck von 1,22 Centner auf seine Unterlage ausüben.

Seinen Lauf um die Sonne vollendet er in 10759 Tagen 5 Stunden 16 Minuten oder in 29 Jahren 166 Tagen 23,25 Stunden. Aus der genauen Beobachtung einzelner Flecken hat Hall ermittelt, dafs er sich in 10 Stunden 14 Minuten 23,8 Sekunden einmal um seine Achse dreht[1]).

Die Excentricität seiner Bahn beträgt 0,056, sein Abstand von der Sonne im Mittel 190,7 Millionen geogr. Meilen. Da Saturn von der Sonne ziemlich 10mal so weit entfernt ist als die Erde, so empfängt jeder Raumteil des Saturn von der Sonne nur $^1/_{91}$ des Lichtes und der Wärme wie ein entsprechender auf Erden. Die Ebene des Saturnäquators bildet mit der Saturnbahn einen Winkel von 28° 40′; somit ist die Tropenzone des Saturn etwas gröfser als die irdische.

Vor allen anderen Planeten ist Saturn durch ein System von sechs Ringen ausgezeichnet, welches in der Ebene des Saturnäquators denselben freischwebend umgiebt; am breitesten ist die Trennungslinie zwischen dem zweiten und dritten Ringe, von aufsen gezählt. Im Vergleich zu seiner Ausdehnung ist dieses Ringsystem sehr dünn. Man nimmt fast allgemein an, dafs die Saturnringe aus einer Flüssigkeit bestehen und sich in einer solchen Entfernung von Saturn befinden, in welcher die vorausgesetzte Wärmestrahlung die Existenz einer zur Kondensation erforderlichen Temperatur gestattet. Bei fortschreitender Abkühlung Saturns mufs diese Grenze seiner Oberfläche stets näher rücken, und damit erklärt sich die Entdeckung Otto Struves[2]), dafs sich der innere Ringrand der Saturnoberfläche nähere, in einfacher Weise. Maxwell hält übrigens das Ringsystem für eine Art Wolke von Satelliten, die zu klein seien, um einzeln mit dem Fernrohre erkannt werden zu können. Sie gleichen nach seiner Anschauung den winzigen Bläschen der Wolken, deren Gesamtheit dem blofsen Auge ebenfalls als ein kompaktes Ganze erscheint. Die Saturnringe bewirken auf der Oberfläche des Planeten eine Verfinsterung, die für die entsprechenden Breiten von Paris und London, wenn solche Städte auf dem Saturn lägen, fünf und für die von Madrid volle sieben Erdenjahre ohne Unterbrechung währen würde.

Saturn hat unter allen Planeten das gröfste Gefolge; denn er besitzt aufser den Ringen noch acht Trabanten. Diese bedecken am

[1]) Astronomische Nachrichten. Bd. XC (1877), Nr. 2146, Sp. 149.

[2]) Mémoires de Poulkova. Vol. I (1853), p. 347—383.

Saturnhimmel einen scheinbaren Raum, der das sechsfache der Mondscheibe beträgt, der Reihe nach nämlich das 2-, 1-, $1\frac{1}{4}$-, $\frac{3}{4}$-, $\frac{5}{8}$-, $\frac{1}{3}$-, $\frac{1}{100}$- und $\frac{1}{40}$fache derselben. Da sie aber nur $\frac{1}{100}$ so viel Sonnenlicht empfangen wie Luna, so können sie, wenn sie sämtlich voll beleuchtet am Saturnhimmel erscheinen, nur $\frac{1}{17}$ der lunaren Lichtwirkung äufsern.

Das Spectrum des Saturn steht in fast voller Übereinstimmung mit dem des Jupiter. Saturn ist also gleichfalls von einer mit Wasserdampf erfüllten Atmosphäre umgeben, die jedoch neben irdischen Stoffen vielleicht auch eigentümliche enthält.

Saturn ist von Sir William Herschel, von Schröter, Kitchener, neuerdings auch von Webb, Airy, Coolidge nicht als eine abgeplattete Kugel, sondern als ein Quadrat mit abgerundeten Ecken gesehen worden[1]). Da er in den verschiedensten Instrumenten sich übereinstimmend so verzerrt zeigte, so darf nicht etwa einem Fehler der Gläser jener rätselhafte Anblick zugeschrieben werden, zumal diese, sobald sie auf Jupiter gerichtet wurden, ein völlig rundes Scheibenbild erkennen liefsen. Wohl hat man gedacht, dafs jener zeitweise eintretende „vierschultrige" Anblick nur auf einer Sinnestäuschung beruhe, die sich einstelle, so oft der Ring des Planeten henkelförmig erscheine; allein die Verzerrung, die als eine Abflachung an den beiden Äquatorial- und den beiden Polarrändern sich äufsert, wurde auch wahrgenommen zur Zeit, wo der Ring nicht sichtbar war, d. h. wo die Gesichtslinie des irdischen Beobachters in die Ringebene fiel. Wir sind also gezwungen uns vorzustellen, dafs der Saturnkörper, den wir uns als stark erhitzt und flüssig oder elastisch denken müssen, den stärksten Gestaltenwandelungen ausgesetzt ist; letztere mögen vielleicht von seinen Monden hervorgerufen werden, die sich nicht in derselben Ebene wie der Planet, sondern um 30 Grad gegen sie geneigt bewegen.

Auch Saturn ist somit sicher ohne organisches Leben.

Mit dem blofsen Auge nur unter günstigen Umständen sichtbar[2]) ist Uranus. Er wurde am 13. März 1781 von Sir William Herschel entdeckt. Indes hatten ihn schon Flamsteed (1690) und Lemonnier (1768 und 1769) beobachtet, ohne jedoch seine Planetennatur zu erkennen.

Sein Äquatorialdurchmesser (= 7500 geogr. Meilen) ist infolge seiner bedeutenden Abplattung ($\frac{1}{9.2}$) beträchtlich gröfser als sein Polar-

[1]) Richard A. Proctor, Other Worlds than Ours. 4th ed. London 1878. p. 149 sq.

[2]) Vgl. hierzu Heis' Wochenschrift für Astronomie, Meteorologie und Geographie. Bd. XVII (1874), S. 208.

durchmesser (= 6700 geogr. Meilen). Im Mittel übertrifft demnach sein Durchmesser den Erddurchmesser um das 4,14fache; somit ist sein Volumen 71mal so grofs als dasjenige der Erde. Verglichen mit Wasser ist seine Dichtigkeit 1,16. Die Dichtigkeit der Erde verhält sich also zu der des Uranus wie 1 : 0,21. Seine Masse ist 14¾mal so grofs als diejenige der Erde; somit wiegt ein irdisches Centnergewicht auf der Uranus-Oberfläche im Mittel 86 Pfund.

Die siderische Umlaufszeit des Uranus beträgt 30686 Tage 19 Stunden 40,8 Minuten oder 84 Jahre 5 Tage 19 Stunden 41,6 Minuten.

Die Excentricität seiner Bahn ist 0,047. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 19,18mal so grofs als der Abstand der Erde von der Sonne, also gleich 383,6 Millionen geogr. Meilen. Vom Uranus aus gesehen besitzt die Sonne blofs $^1/_{370}$ ihrer scheinbaren irdischen Gröfse; dem entsprechend sind auch die Sonnenkräfte, die Uranus empfängt, aufserordentlich gering. Wir wissen nicht, wie die Achse des Uranus zu seiner Bahnebene steht; sollte jedoch (nach Analogie des Jupiter) seine Äquatorialebene mit der Umlaufsebene seiner vier Monde (die Existenz von zwei weiteren Uranusmonden wurde bisher noch nicht mit Sicherheit erwiesen) zusammenfallen, so würde diese Neigung nicht 23½ Grad wie bei der Erde, sondern gegen 79 Grad betragen, also noch ein wenig ungünstiger sein, als es wahrscheinlich die Stellung der Venusachse ist; denn die Bahnebene der Uranusmonde durchschneidet fast rechtwinklig die Uranusbahn. Die Uranusmonde besitzen ferner eine rückläufige Bewegung — eine sonst nur noch an dem Neptunmonde gemachte Wahrnehmung — und wenn sich der Planet in gleichem Sinne drehen sollte, dann würde die Sonne scheinbar von West nach Ost über seinen Himmel hinwegziehen.

Das Licht des Uranus ist so schwach, dafs im Spectrum desselben Fraunhofersche Linien nicht erkannt werden können; doch deuten mehrere im Uranusspectrum sichtbare Bande auf das Vorhandensein einer den Planeten umgebenden Lufthülle hin. Welche Stoffe indessen eine solche Absorption herbeiführen, läfst sich nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft nicht angeben. Eine der Banden des Uranusspectrums fällt mit einer solchen in dem Spectrum des Jupiter und Saturn genau zusammen.

Die geringe specifische Schwere des Uranus, so wie seine grofse lichtreflektierende Kraft (vgl. S. 100, Nota 1) und die Eigentümlichkeiten seines Spectrums lassen uns vermuten, dafs er glutflüssig und noch in schwachem Grade selbstleuchtend, somit auch ohne organische Belebung ist. Und selbst wenn seine Oberfläche erstarrt wäre, dürfte

er wohl kaum organisch belebt sein, da ihm die Sonne nur aufserordentlich wenig Licht und Wärme zusendet.

Am unsichersten sind unsere Kenntnisse über denjenigen Planeten, der von der Sonne am weitesten entfernt ist: über Neptun.

Seine Entdeckung gehört zu den schönsten Triumphen der Wissenschaft. Wir müssen zur Erklärung hier einschalten, dafs die Bahn eines Planeten um die Sonne eine rein elliptische Gestalt besitzen würde, wenn nur die gegenseitig anziehenden Kräfte der Sonne und des Planeten ins Spiel kämen. Allein die Planeten ziehen sich wieder unter einander an und bewirken dadurch Störungen ihrer elliptischen Bahnen. Solche Störungen hatte man an der Uranusbahn wahrgenommen, aber ihren Urheber nicht gefunden. Nun berechnete Leverrier auf Grund dieser Störungen den Ort des theoretisch geforderten transuranischen Planeten, und wirklich entdeckte Galle in Berlin, welchem ausgezeichnete Instrumente und zur Durchmusterung des von Leverrier bezeichneten Ortes die vortreffliche Sternkarte von Bremiker zu Gebote standen, am 23. September 1846 den neuen Planeten Neptun an der von Leverrier angegebenen Stelle. Übrigens hatte Lalande, wie man sich später überzeugt hat, bereits am 8. und 10. Mai 1795 dieses Gestirn beobachtet, freilich ohne sich der Bedeutung desselben bewufst zu werden.

Neptun hat einen Durchmesser von 7600 geogr. Meilen; sein Rauminhalt ist also 87mal so grofs als derjenige der Erde. Er ist nur wenig schwerer als das Wasser; denn sein specifisches Gewicht beträgt 1,06. Die Dichtigkeit der Erde verhält sich demnach zu der des Neptun wie 1 : 0,19. Seine Masse übertrifft die der Erde 16,5mal; ein terrestrisches Centnergewicht würde auf der Neptunoberfläche nur einen Druck von 84 Pfund auf seine Unterlage ausüben.

Seinen Weg um die Sonne vollendet Neptun in 164 Jahren 225 Tagen 17 Stunden. Der eine bisher entdeckte Neptunmond bewegt sich gleich den Uranustrabanten rückläufig und zwar auf einer um 35° gegen die Ekliptik geneigten Bahn.

Die Excentricität der Neptunbahn, nächst derjenigen der Venusbahn die kleinste, ist 0,009. Sein Abstand von der Sonne (600,1 Millionen geogr. Meilen) ist 30mal so grofs als die Entfernung der Erde von der Sonne. Von Neptun aus gesehen besitzt die Sonne nur $^1/_{900}$ ihrer scheinbaren irdischen Gröfse, d. h. sie ist nur wie ein heller Stern sichtbar, und die Sonnenkräfte (Licht und Wärme) sind daher in Neptunfernen auf ein Minimum beschränkt.

Das Spectrum dieses Planeten hat grofse Ähnlichkeit mit dem des Uranus; es ist wie dieses durch mehrere breite, dunkle Streifen

charakterisiert. Auch für Neptun darf man annehmen, dafs seine Atmosphäre eine starke Absorption auf das Sonnenlicht ausübt.

Neptun erscheint uns aus denselben Gründen wie Uranus ungeeignet, organisches Leben zu beherbergen.

Nachdem wir in dem vorhergehenden das weite Gebiet unseres Sonnensystems durchwandert haben, wenden wir uns nun zurück zu unserer Erde und betrachten noch ihren allezeit getreuen Begleiter: den Mond.

Sein Durchmesser (468 geogr. Meilen) ist ungefähr $^1/_{3.7}$, seine Oberfläche (688 640 Quadratmeilen, d. i. die Gröfse von Amerika ohne die arktischen Landräume) $^1/_{13}$ und sein Volumen $^1/_{49}$ von den entsprechenden Gröfsen der Erde. Sein Gewicht ist 3,58mal so grofs als eine seinem Volumen entsprechende Wassermenge; er ist demnach so schwer, wie eine gleich grofse Kugel aus Diamant sein würde. Die Dichtigkeit der Erde verhält sich also zu der des Mondes wie 1 : 0,64. Setzen wir die Erdmasse gleich 1, so ist die des Mondes nur 0,013 (= $^1/_{77}$). Ein irdischer Centner wiegt auf der Mondoberfläche nur 17,6 Pfund. Während ein frei fallender Körper in der ersten Sekunde auf der Sonne einen Weg von 135,1 und auf der Erde einen solchen von 4,9 Meter zurücklegt, würde er auf dem Monde in der ersten Sekunde nur 0,86 Meter weit gelangen.

Die siderische Umlaufszeit des Mondes (die Zeit, in welcher der Mond einen Umlauf um die Erde vollendet,) beträgt 27 Tage 7 Stunden 43 Minuten 11,5 Sekunden, die synodische Umlaufszeit (die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Conjunctionen des Mondes und der Sonne) 29 Tage 12 Stunden 44 Minuten 2,9 Sekunden. Während nämlich der Mond, von einer Conjunction mit der Sonne ausgehend, seine Bahn um die Erde beschreibt, rückt auch die Erde in ihrem Laufe um die Sonne weiter; er mufs sich deshalb noch über den angenommenen Ausgangspunkt seiner elliptischen Bahn hinausbewegen, um wieder mit der Sonne in Conjunction zu stehen.

Die mittlere Entfernung des Mondmittelpunktes von der Erdmitte ist gleich 51 800 geogr. Meilen. Die Excentricität der Mondbahn ist 0,055. Da der Mond nicht blofs die Erde, sondern mit der Erde zugleich die Sonne umkreist, so ist die Bahn des Mondes im Raum oder vielmehr in Beziehung auf die Sonne eine Epicykloide.

Auffallend ist es, dafs der Mond der Erde immer dasselbe Antlitz zukehrt, während die andere Mondhälfte beständig von der Erde abgewandt ist. Daraus geht hervor, dafs er in derselben Zeit, in welcher er sich um die Erde bewegt, eine Drehung um seine Achse ausführt. Dennoch ist nicht immer genau ein und derselbe Punkt des Mondkörpers der Erde am nächsten; es findet vielmehr eine kleine

Schwankung (Libration) statt, indem der gröfste Kreis, welcher die uns sichtbare Mondhälfte begrenzt, sowohl in der Richtung von Ost nach West, als auch in der Richtung von Nord nach Süd kleine Verschiebungen erleidet.

Die erste dieser Schwankungen, die Libration der Länge, rührt daher, dafs der Mond keine kreisförmige, sondern eine elliptische Bahn um die Erde beschreibt. Das zweite Keplersche Gesetz lehrt uns über die Planetenbewegung: In gleichen Zeiten werden von dem Leitstrahl (radius vector) gleiche Flächenräume beschrieben. Hieraus ergiebt sich, dafs die Geschwindigkeit des Mondes in der Erdnähe am gröfsten, in der Erdferne am geringsten ist. Dagegen ist die Achsendrehung des Mondes stets eine gleichförmige. Wenn daher der Mond auf seiner elliptischen Bahn verhältnismäfsig langsam fortschreitet, so bewegt sich die der Erde anfangs zugekehrte Seite im Sinne der Mondrotation zu weit. Rückt nun der Mond auf seiner Bahn wieder schneller vorwärts, so zeigt sich von neuem die ursprüngliche Seite, und wenn die Beschleunigung fortdauert, erscheint die Mondscheibe in entgegen gesetzter Richtung verschoben. Die Libration der Länge kann bis zu 7° 53′ auf jeder Seite wachsen.

Die Libration der Breite ist eine Folge davon, dafs die Rotationsachse des Mondes nicht ganz rechtwinklig auf seiner Bahnebene steht, sondern im Mittel um 6° 38′ gegen dieselbe geneigt ist. Daher liegen die Mondpole nicht im Rande der Mondscheibe, sondern sind uns abwechselnd etwas zu- und abgewandt; wir sehen also bald einige Grade über den Nordpol, bald einige Grade über den Südpol hinaus. Alles in allem vermögen wir etwa $^4/_7$ der gesamten Mondoberfläche zu überschauen.

Dafs der Mond zu einer Bewegung um die Erde auf seiner Bahn gerade so viel Zeit braucht wie zu einer Achsendrehung oder mit andern Worten, dafs er, abgesehen von den erwähnten kleinen Schwankungen, der Erde immer dieselbe Seite zukehrt, kann nicht blofser Zufall sein. Hansen kam aus der sorgfältigsten Untersuchung der Mondbewegungen zu dem Schlufs, dafs die von uns abgewandte Mondhälfte dichter sein müsse als die uns zugekehrte und dafs darin jene stetig gleichartige Stellung des Mondes gegen die Erde begründet sei[1]).

Hansen erklärt dies in folgender Weise. Würde der Mond wie von einer Schnur gehalten um die Erde schwingen, so würden

[1]) Hansen legte seine Theorie dar in einem Briefe an Airy vom 3. Nov. 1854, publ. in den Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Vol. XV (1854), 10. Nov. Der Brief ist begleitet von einer Abhandlung: „On the Construction of New Tables and on some points in the Lunar Theory depending on the Conformation of the Moon with respect to its Centre of Gravity.“

sich, falls die ihn bildenden Massen noch nicht völlig erstarrt und von verschiedener Schwere wären, die schwereren Teile nicht im geometrischen Mittelpunkt, sondern aufserhalb desselben und zwar an einem von der Erde weiter entfernten Punkte sammeln. Der Schwerpunkt des Mondes käme demnach nicht in den Mittelpunkt der Sphäre zu liegen, sondern näher an die von uns abgekehrte Oberfläche und zwar (nach Hansens Berechnung) etwa 8 geogr. Meilen jenseits des Centrums der Mondkugel. Gleichzeitig müfste sich der Monddurchmesser infolge der Erdanziehung gegen die Erde hin nicht unbeträchtlich verlängern.

Aus der Verschiebung des Schwerpunktes würden sich weitere wichtige Folgen ergeben, falls der Mond eine Atmosphäre besitzen sollte. Alle Körper im flüssigen oder gasförmigen Zustande, welche die Oberfläche eines Weltkörpers bedecken, suchen die niedrigsten Räume zu erreichen, das heifst aber nicht Räume, welche dem mathematischen Centrum, sondern dem Mittelpunkt der Gravitation am nächsten liegen, und in gleichem Abstand von diesem müssen sie im allgemeinen gleiche Dichte haben. Sie würden also in dem angenommenen Falle beim Monde nach der uns abgekehrten Hälfte geflossen sein und ihn mit einer excentrischen Luft-, resp. Wasserhülle bedeckt haben. Beschreibt man um den Schwerpunkt des Mondes als Mittelpunkt eine Kugel, deren Halbmesser 8 geogr. Meilen gröfser ist als der Mondhalbmesser, so würde dieselbe diesseits gerade noch die Mondoberfläche berühren, auf der anderen Seite aber sich 16 geogr. Meilen über dieselbe erheben. Hat nun der Mond eine Atmosphäre, so ist diese diesseits an demjenigen Punkt, welcher der Erde am nächsten liegt, nicht dichter wie auf dem diametral entgegengesetzten jenseitigen Punkt in einer Höhe von 16 geogr. Meilen. Wenn wir daher auf der uns zugekehrten Mondseite die Atmosphäre vermissen, so erscheint zunächst die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dafs auf der uns unsichtbaren Mondseite der Luftdruck ebenso mächtig ist wie der an der Oberfläche unserer Meere, dafs hier Wolken über die Berge dahinziehen und Meere die Tiefen erfüllen.

Indes wollen wir uns nicht in Spekulationen über denjenigen Teil der Mondoberfläche verlieren, den zu erblicken uns Sterblichen nicht vergönnt ist. Wir werden uns in dem folgenden ausschliefslich mit der uns zugewandten Mondseite beschäftigen.

Diese hat ein äufserst bewegtes Relief. Dasselbe tritt am deutlichsten am Rande der Lichtphasen hervor, also in denjenigen Mondgegenden, wo die Sonne eben auf- oder untergeht, weil hier durch stärkere Schattenentwicklung das Bild scharf markierte Züge erhält. Aus der Länge der Schatten wurden bereits die Höhen einiger Mond-

berge gemessen; so hat man beispielsweise für die Gebirge Dörfel und Newton Höhen von 7470, resp. 7150 Metern gefunden, Höhen, welche die Montblanc-Höhe noch um das $^1/_2$fache übersteigen.

Auf der Mondoberfläche bemerken wir Ebenen, vereinzelte Berggipfel, sowie Bergketten (unter ihnen der stattliche, über 120 Meilen lange Apenninus mit dem 5200 Meter hohen Gipfel Huyghens), vor allem aber eine überraschende Fülle von Vulkanen. Enthält doch Schmidts treffliche Mondkarte aufser zahlreichen anderen Bergen nicht weniger als 35 000 Krater! Dabei sind viele derselben wahre Riesen gegen ihre irdischen Brüder. Während nämlich keines der vulkanischen Amphitheater auf Erden einen Durchmesser von einer Meile erreicht (selbst ein solcher von $^1/_4$ Meile ist sehr selten), so besitzen die Mondvulkane zu unserem Erstaunen Öffnungen bis zu 16 Meilen Durchmesser und darüber. Dagegen dürfen eine Anzahl von Ringgebirgen (Ptolemäus, Grimaldi, Schickard, Schiller und Clavius), deren Durchmesser über 20 Meilen mifst, und das 70 Meilen im Durchmesser haltende Mare Crisium wegen ihrer bedeutenden Gröfse kaum zu den vulkanischen Erscheinungen gezählt werden; die Art ihrer Entstehung ist uns zur Zeit noch ein Geheimnis.

Gegenwärtig ist die vulkanische Thätigkeit auf dem Monde wohl vollständig erloschen. Zwar sind Veränderungen an der Mondoberfläche beobachtet worden von Schmidt (1866) an dem Krater Linné, sowie an einer anderen Stelle und von Herm. J. Klein (1877) westnordwestlich von dem Krater Hyginus, im Innern der grofsen Wallebene Alphonsus und bei dem Mare Nectaris [1]). Da jedoch kleinere Formen auf der Mondoberfläche je nach Beleuchtung und Luftzustand oft ein ganz anderes Aussehen gewinnen und somit ein Irrtum in der Terrainaufnahme sehr leicht möglich ist, so verhalten sich verschiedene Astronomen gegenüber diesen Entdeckungen zweifelnd [2]). Übrigens soll nicht geleugnet werden, dafs Kratereinstürze auf dem Monde vorkommen und infolge der enormen Temperaturschwankungen an der Mondoberfläche (s. S. 111) eine starke Zertrümmerung des Gesteins stattfindet, wenngleich solche Veränderungen nur selten von genügender Gröfse sein dürften, um von irdischen Beobachtern erkannt zu werden.

[1]) J. H. v. Mädler, Geschichte der Himmelskunde. Braunschweig 1873. Bd. II, S. 283 ff. Gaea 1878 (Bd. XIV), S. 433. Petermanns Mitteilungen 1882, S. 207—210.

[2]) J. Nasmyth und J. Carpenter, Der Mond. Deutsche Ausgabe von H. J. Klein. 2. Aufl. Leipzig 1880. S. 55. 130 f. Newcomb, Populäre Astronomie. Deutsche Ausgabe von Rudolf Engelmann. Leipzig 1881. S. 348 ff.

Ist die Mondoberfläche in früheren Zeiten wirklich der Ort mächtiger vulkanischer Verheerungen gewesen, so mufs der Mond eine Luft- und Wasserhülle besessen haben; denn ohne Luft und Wasser sind keine vulkanischen Erscheinungen denkbar. Gerade dieses Verschwinden von Luft und Wasser auf der einen Mondseite macht es wahrscheinlich, dafs auch auf der anderen Mondseite ein solcher Vorgang stattfand, dafs sie also ebenfalls dieser wichtigen Dinge entbehrt.

Nun wird jeder sofort die Frage aufwerfen: Warum sind Atmosphäre und Wasser auf dem Monde verschwunden? Es erklärt sich dies am einfachsten in folgender Weise: Unsere Erde hat bekanntlich in ihrem Inneren die höchsten Temperaturen; kein flüchtiger Stoff vermag tiefer als bis zu $^1/_{50}$ des Erdhalbmessers in das Erdinnere einzudringen, ohne in hoch erhitztem Zustande wieder an die Erdoberfläche getrieben zu werden. Da jedoch die Abkühlung des Erdballs ununterbrochen weiter fortschreitet, so werden Wasser und Luft immer tiefer nach dem Erdmittelpunkte eindringen, bis endlich vielleicht noch vor gänzlicher Erkaltung eine totale Aufsaugung dieser Elemente erfolgt. Bei völliger Erkaltung würden die Erdporen vollkommen hinreichen, um das Hundertfache sämtlicher Meere des Erdballs und die ganze ihn umgebende Atmosphäre in sich aufzunehmen. Dieser Aufsaugungsprozefs ist auf dem Monde wahrscheinlich bereits vollendet. Da der Mond einen 49mal kleineren Rauminhalt, aber nur eine 13mal so kleine Wärme ausstrahlende Oberfläche hat als die Erde, so verlor er die ihm eigene kosmische Wärme nahezu 4mal so rasch als die Erde, und der geschilderte Vorgang vollzog sich dem entsprechend auf ihm viel rascher.

Wir haben schon wiederholt darauf hingewiesen, dafs der Mond keine Atmosphäre besitzt. Wodurch wird diese Thatsache bewiesen?

Wir machen zuerst darauf aufmerksam, dafs die Schatten der Mondberge vollkommen schwarz sind. Wo sie hinfallen, ist nichts vom Detail der Landschaft zu erkennen, herrscht absolute Nacht, während im Schatten irdischer Dinge wegen der lichtzerstreuenden Eigenschaft der Luft immer noch Tageshelle sich findet. Ferner vermissen wir auf dem Monde jede Spur von einer Dämmerung; somit fehlt ihm eine lichtbrechende Atmosphäre. Auch entbehrt er gröfserer Ansammlungen von Wasser, dessen Dämpfe ja schon allein eine Atmosphäre erzeugen würden[1]). Diese Dämpfe müfsten wir auf dem Monde

[1]) Das Vorkommen von Eis- und Schneemassen, deren mittlere Temperatur −20° C. beträgt, würde allenfalls mit den bisher bekannten Beobachtungen noch vereinbar sein. F. Zöllner, Photometrische Untersuchungen. Leipzig 1865. S. 283—287.

um so entschiedener wahrnehmen, als Tag und Nacht auf ihm je $14^1/_2$mal 24 irdische Stunden dauern. In den ersten lunaren Nachmittagsstunden wird daher die Mondoberfläche so erhitzt, dafs Wasser ins Sieden geraten würde; dann aber erschiene die Mondsichel nicht allezeit so blank geputzt. Die Gegenwart des Wassers müfste sich dem Fernrohr und noch viel entschiedener dem Spectroskop verraten, welches ja bereits auf dem unendlich weiter entfernten Uranus und Neptun die Gegenwart einer Dunstumhüllung angezeigt hat. Indessen stimmt das Spectrum des Mondes mit dem der Sonne völlig überein; die dunklen Linien erscheinen weder in Bezug auf ihre relative Intensität, noch auf ihre Zahl im Mondspectrum verändert[1]). Ferner ist hervorzuheben, dafs, wenn ein Fixstern mit dem Mondrande scheinbar in Berührung kommt, keine Spur von Lichtbrechung zu bemerken ist. Bei den Sternbedeckungen (Occultationen) durch die Mondscheibe erfolgt das Auslöschen und Wiederaufglänzen der Fixsterne genau in der mathematisch voraus berechneten Zeit, während, wenn der Mond eine lichtbrechende Atmosphäre hätte, der Stern später verlöschen und früher wieder aufglänzen würde, weil wir ihn dann gleichsam um den Rand des Mondes herum noch erblicken müfsten. Auf Grund der beobachteten Sternbedeckungen hat Bessel[2]) bewiesen, dafs die Luft am Mondrande höchstens $^1/_{968}$ der Dichtigkeit unserer Atmosphäre bei mittlerem Barometerstand haben kann. Zu diesem Resultate gelangt man jedoch nur, indem man verschiedene Annahmen zu Gunsten einer gröfstmöglichen Luftdichtigkeit macht. Da wir nun selbst mit unseren besten Luftpumpen nur eine Verdünnung bis zu $^1/_{1000}$ der normalen Luftdichte erzielen können, so würde die Mondatmosphäre im günstigsten Falle so dünn sein wie die Luft in dem Raume, den wir gewöhnlich als „luftleer" zu bezeichnen pflegen.

Höchst wahrscheinlich besitzt also die den Erdbewohnern sichtbare Halbkugel des Mondes keine Atmosphäre. Keine Atmosphäre! — das ist ein bedeutungsvoller Ausspruch. Unsere Luft ist die Trägerin des Schalles; also würde auf dem Monde kein gesprochenes Wort gehört werden; kein Telephon würde sich dort wirksam erweisen. Tausend Kanonen könnte man abfeuern und tausend Posaunen blasen lassen; aber es würde alles in tiefstem Schweigen verharren. Über diese klanglose Stätte weht auch kein Wind; denn wo keine Luft erwärmt wird, entsteht auch kein Luftzug. Ebenso vermissen wir jegliche Wolkenbildung. Der Himmel erscheint dort nicht blau, sondern dunkel; auf

[1]) W. Huggins und W. A. Miller in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLIV (1864), p. 419 sq.

[2]) Astronomische Nachrichten. Bd. XI, Nr. 263, Sp. 411 ff.

dem schwarzen, stets gestirnten Taghimmel bewegt sich träge der glühende Ball der Sonne. Innerhalb einer Stunde ist die Sonne am irdischen Äquator für alle Punkte auf einer Strecke von 225 geogr. Meilen aufgegangen; am Mondäquator schleicht das Sonnenlicht nur 2 geogr. Meilen in der Stunde vorwärts. Da die Dämmerung fehlt, so wechselt heller Tag plötzlich mit finstrer Nacht. Ferner giebt es keine Jahreszeiten auf dem Monde, sondern Tag und Nacht sind zugleich Sommer und Winter. Von dem Moment an, wo ein Teil des Mondes beschienen wird, behält er über zwei Wochen lang Tag. Man denke sich nun, welche Hitze auf dem Monde entstehen muſs, wenn $14\frac{1}{2}$ Tage lang nie eine kühle Nacht die tropische Glut unterbricht und niemals der Schatten einer Wolke diese Hitze mildert. Umgekehrt steigt die Kälte, wenn die Sonne Abschied genommen hat, auſserordentlich rasch, da keine Lufthülle und keine Wolkenbildung die Ausstrahlung hemmt, und übertrifft noch diejenige an unseren Polen; denn dorthin gelangen ja noch erwärmte Luftschichten aus niederen Breiten, während es auf dem Monde überhaupt keine Winde giebt. Nach den experimentellen Forschungen Lord Rosses würde die Hitze während des Tages dem Schmelzpunkt von Wismut (c. 260° C.) sehr nahe kommen; dagegen würde in der langen Mondnacht die eisige Kälte des Weltraumes (— 142° C.) hereinbrechen. So dürfen wir also auf dem Monde kein organisches Wesen suchen; denn keine Pflanze vermöchte den Wechsel einer Siedetemperatur und einer hyperpolaren Kälte zu ertragen; sie fände auch keine Atmosphäre, die ihre Atmungsorgane in Bewegung setzte, und keinen Regen, welcher die mineralische Nahrung in genieſsbarem Zustande ihr zuführte. Selbstverständlich würde auf dem Monde noch weniger animalisches Leben bestehen können. Der geistreiche Schleiden hat den Mond einen Schwächling genannt; man könnte noch hinzufügen, es sei die Leiche eines Schwächlings, unfähig Moos und Mücken zu ernähren, eine lautlose Einöde.

Das Endresultat, welches wir aus den vorhergehenden Betrachtungen gewinnen, lautet: Im Sonnensystem giebt es auſser der Erde nur zwei Körper, Venus und Mars, die wir als befähigt für Erweckung und Erhaltung organischen Lebens ansehen dürfen, wobei wir annehmen, daſs dasselbe auf anderen Welten an ähnliche Voraussetzungen gebunden ist wie auf Erden. Die Gesamtmasse dieser drei Planeten beträgt nur $1/_{174\,000}$ der Masse aller Körper im Sonnensystem, ist also verschwindend klein gegen die letztere. Verwundert erhebt jeder Denkende die Frage: Wie kommt es, daſs eine so riesenhafte Stoffmasse notwendig war, um einem winzigen Teil die Vorbedingungen organischen Lebens zu verleihen? Giebt es doch selbst auf unserem

kleinen Planeten noch weite Räume, welche sich wohl kaum jemals dazu eignen werden, animalisches oder vegetabilisches Leben zu beherbergen, wie die Polarlandschaften, die mit ewigem Schnee bedeckten Hochgebirgsgebiete und die Wüsten!

Doch nicht bloſs in Bezug auf Stoff, sondern auch in Hinsicht auf lebendige Kraft scheint die Natur wenig haushälterisch zu sein. Wir haben schon in einem früheren Abschnitte gezeigt, daſs die wichtigste physische Lebensquelle der Erde die Licht und Wärme spendende Sonne ist. Nun besitzt eine vom Sonnenmittelpunkt aus konstruierte Kugel, deren Radius der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne gleich ist, eine 2 300 000 000 mal so groſse Oberfläche als die von der Sonne aus betrachtete Erdscheibe; somit empfängt unser Planet von der Sonne nur ein auſserordentlich kleines Strahlenbündel, nämlich $^1/_{2\,300\,000\,000}$ der gesamten Licht- und Wärmemenge, welche die Sonne aussendet. Der ungeheure Rest, von dem nur ein sehr geringer Teil noch den anderen Planeten zukommt, strömt hinaus in den Weltraum und leistet keine anderen Dienste, als die Temperatur des Weltäthers ein wenig zu erhöhen. Ferner erweisen sich — menschlich gesprochen — nicht einmal jene relativ unbedeutenden Licht- und Wärmekräfte, welche die Planeten erhalten, überall als zweckmäſsig; sie sind jedenfalls in Merkurnähe zu groſs, jenseits der Marsbahn aber zu gering zur Erweckung und Erhaltung organischen Lebens auf den Planeten. Immerhin müssen wir noch von einer Gunst der Verhältnisse sprechen, daſs unsere Erde auf so weiten Räumen ein passendes Maſs von Sonnenkräften empfängt; dies würde in viel geringerem Grade der Fall sein, wenn z. B. die Erdachse, wie bei Jupiter, nahezu senkrecht auf der Ebene der Erdbahn stünde, wobei wir des Wechsels der Jahreszeiten, eines trefflichen Verbreiters organischen Lebens, verlustig gingen, oder wenn sie nur wenig gegen dieselbe geneigt wäre, wie bei der Venus, was vernichtende Temperaturgegensätze herbeiführen würde.

Wir lieben es, die gesamte Körperwelt so anzusehen, als diene sie nur der Entwicklung von Organismen auf Erden; die Bestimmung des Pflanzen- und Tierlebens aber suchen wir in nichts anderem als darin, daſs es unserem eigenen Geschlechte möglichst groſsen Nutzen gewährt. Wer einer derartigen Anschauung huldigt und sich bei der Beurteilung des Weltganzen lediglich von dem Nützlichkeitsprincip leiten läſst, dem muſs es als eine namenlose Massen- und Kraftverschwendung erscheinen, wenn zur Belebung eines so kleinen Körpers, wie es unsere Erde ist, ein unermeſslicher Aufwand von Mitteln erforderlich ist. Es muſs ihm ähnlich vorkommen, wie wenn man des Nachts Rom anzünden lassen wollte, um bei dem Schein der Flammen

auf der Appischen Strafse einen verlorenen Thaler zu suchen. Dazu kommt, dafs die organische Belebung nicht blofs räumlich, sondern auch zeitlich aufserordentlich beschränkt ist. Die Zeit, in welcher sich unser Planet aus der Masse des Urstoffes individualisierte und zur Aufnahme organischen Lebens rüstete, ist unendlich grofs im Vergleich zu der Dauer der organischen Belebung. Die bisherige Menschengeschichte aber ist nur wie eine Welle in dem grofsen Ocean der Zeiten. Wir bewundern es, wenn mit wenig Mitteln Grofses geleistet wird; in dem Weltall aber scheint mit einem ungeheuren Aufwand nur relativ Kleines erreicht zu werden. Wir erkennen hier deutlich, dafs es ganz falsch ist, den menschlichen Zweckmäfsigkeitsmafsstab an die Körperwelt zu legen. Nützlichkeit ist ein rein menschlicher Begriff, der auf den Kosmos gar nicht angewendet werden kann. Wir stehen hier vor einem für uns Menschen unlösbaren Rätsel und können nur sprechen: Jede Individualisierung des kosmischen Stoffes ist zunächst, und ihr Sein ist zugleich ihr Zweck. Ihre höhere Bestimmung bleibt uns Sterblichen verborgen.

Wär schon ein Zusammenwirken vieler günstiger Umstände unerläfslich, dafs die Erde überhaupt bewohnbar wurde, so mufs es uns geradezu wunderbar erscheinen, dafs sich das organische Leben zu der denkbar richtigsten Zeit auf Erden entfaltete. Wunderbar dürfen wir dies deshalb nennen, weil sich zahlreiche von einander unabhängige Vorbedingungen für organische Belebung gleichzeitig begegneten, während doch durch das Ausbleiben einer dieser Bedingungen unser Planet sehr leicht zu ewiger Verödung hätte verurteilt werden können. Wir wollen hier nur auf ein Zweifaches hinweisen. Die Sonne mufs uns früher schwächer geleuchtet haben; andrerseits aber dürfte die Erde auch in Zukunft weniger Wärmekräfte empfangen, da die Sonne schon dem Abkühlungsprozesse verfallen ist. Nur deshalb weil die Erde zur rechten Zeit eine zweckentsprechende Stellung zur Sonne einnahm, wurde die organische Belebung unseres Planeten möglich. Ferner würde für sie niemals ein Zeitalter angebrochen sein, das den Organismen eine so reiche Entfaltung gestattete, wenn z. B. statt Venus, Erde und Mars ein einziger Planet aus der Summe ihrer Massen entstanden wäre, der dann wahrscheinlich noch nicht die erforderliche Dichtigkeit und Oberflächentemperatur besitzen würde, oder wenn statt der Erde ein Schwarm von Asteroiden sich gebildet hätte, die wegen ihrer Kleinheit sicherlich keine Asyle für organische Regungen gewesen wären.

Die Erde erscheint also in der gegenwärtigen Verfassung des Sonnensystems auf eine geologisch kurze Dauer ungewöhnlich begünstigt für organische Belebung. Dafs sich bei ihr alle Bedingungen

für die Entwicklung von Organismen im richtigen Zeitabschnitt vereinigten, gestattete den Eintritt von Erscheinungen, die sich in anderen kosmischen Systemen nicht so leicht wiederholen werden. Wir können und müssen daher auf unseren Planeten als auf einen außerordentlich bevorzugten blicken. Die Erde steigt in unserer Anschauung im Range, und die Erdkunde wird für uns um so ernster, weil sie uns den hohen Wert unseres Wohnortes würdigen lehrt.

V. Die Meteorite.

Ausser den Planeten und Planetoiden umkreisen noch zahlreiche andere Weltkörper die Sonne, entziehen sich aber für gewöhnlich infolge ihrer Kleinheit den Augen irdischer Beobachter. Sichtbar werden sie nur, wenn sie auf ihrem Laufe in die Erdatmosphäre gelangen. Diese kleinsten aller astronomischen Objekte sind die Meteorsteine, Meteorite oder Aërolithe.

Schon im Altertum wurden sie vielfach beobachtet. Die chinesischen Berichte über Meteoritenfälle reichen bis zum 7. Jahrhundert der vorchristlichen Zeit hinauf; ebenso wird in den ältesten indischen Gedichten (z. B. in der Mahabharata. Lib. I, v. 1416—1421) bereits auf derartige Erscheinungen angespielt. Plutarch und Plinius schildern uns einen im Jahre 466 v. Chr. am Aegos Potamos in Thracien niedergefallenen Meteoriten als einen gewaltigen Stein, welcher an Gröfse zwei Mühlsteinen, an Schwere dem Gewicht einer vollen Wagenladung gleichgekommen sei.

Die „Annales Fuldenses“ erzählen, dafs im Jahre 823 in Sachsen durch einen grofsen Meteorsteinfall 35 Dörfer in Brand gesteckt worden seien. Man kann sich dies nicht anders erklären, als dafs man einen förmlichen Regen von Meteoriten annimmt, der wie ein Hagel eine gröfsere Fläche traf; ein einziger Meteorstein konnte unmöglich eine solche Wirkung hervorbringen.

Aus jedem Jahrhundert des Mittelalters wie der Neuzeit haben wir Berichte über Meteoritenfälle; sie nehmen natürlich an Zahl zu, je mehr man sich der Gegenwart nähert, da man diesen Naturerscheinungen in späteren Zeiten eine gröfsere Aufmerksamkeit schenkte und sie sorgfältiger registrierte.

In früheren Jahrhunderten zweifelte niemand daran, dafs Meteoritenfälle stattfänden, da ja zahlreiche gut beglaubigte Berichte vorlagen; trotzdem stellten am Ende des 18. Jahrhunderts die Mitglieder

der Pariser Akademie und nach ihrem Vorgang die meisten Gelehrten jener Zeit die Wirklichkeit der Meteorsteinfälle gänzlich in Abrede und verwiesen sie in das Reich des Aberglaubens.

Da ereignete sich am 26. April 1803 der Meteorsteinfall bei Aigle im Departement de l'Orne (Normandie). An dem genannten Tage stürzten zwischen 1 und 2 Uhr nachmittags gegen 2000 bis 3000 Steine auf eine etwa 2 Meilen lange elliptische Fläche herab. Biot, von der Pariser Akademie zur Untersuchung entsendet, überzeugte sich an dem Orte des Ereignisses von der Wahrheit der Thatsache, und seitdem sind alle jene Zweifel vernichtet, zumal bald darauf neue Meteoritenfälle, wie der in der Nähe von Alais (in Languedoc, nordwestlich von Nîmes) am 15. März 1806, beobachtet wurden.

Die Gröfse und das Gewicht der Meteorite sind aufserordentlich verschieden. Unter den bei Aigle gefallenen befanden sich auch solche, welche nur 8 Gramm wogen; die meisten hatten ein Gewicht von mehr als 1 Pfund, einer von über 18 Pfund.

Häufig sind die Meteorite sogar centnerschwer. Am Eingang der Pfarrkirche von La Caille im Departement Var (in der Provence) liegt eine 12 Centner schwere Eisenmasse. Die von Pallas im Jahre 1772 bei Krasnojarsk am Jenisseï auf der Höhe eines Berges gefundene Masse von Meteoreisen wog fast 40 Pud (c. 655 Kilogramm) [1]. Unter den neueren Meteorfällen ist der von Knyahinya (Ungarn) am 9. Juni 1866 der bedeutendste. Die herabgefallenen Steine, deren Gesamtgewicht auf 8 bis 10 Centner geschätzt wurde, bedeckten eine elliptische Fläche von 2 Meilen Länge und $^3/_4$ Meilen Breite; einer, der beim Auffallen zerbarst, mag wohl $5^1/_2$ Centner gewogen haben [2]. Nicht minder grofse Meteoreisenmassen weisen einzelne Gegenden im Innern Afrikas auf. So berichtet Andersson: „Acht bis zehn Tagereisen ostwärts von der Missionsstation Bethania (im Grofs-Namaqua-Lande in Südafrika) findet man Meteoreisen in fast unerschöpflicher Menge. Ich habe Stücken von mehreren hundert Pfund Gewicht gesehen, die man von dort herbrachte“, wobei er noch die interessante Notiz hinzufügt: jenes Metall sei so rein und dehnbar, dafs die Eingeborenen ohne jede vorgängige Umschmelzung Kugeln daraus verfertigten [3]. Wir dürfen im Anschlufs daran die Vermutung aussprechen, dafs die Verwendung des aufserordentlich leicht zu bearbeitenden Meteoreisens bei manchen Völkern die Eisenzeit eingeleitet haben mag.

[1] P. S. Pallas, Reise durch verschiedene Provinzen des russischen Reichs. St. Petersburg 1776. Bd. III, S. 411—417.

[2] Poggendorffs Annalen. Bd. CXXIX (1866), S. 658 f.

[3] Charles J. Andersson, Reisen in Südwest-Afrika bis zum See Ngami in den Jahren 1850 bis 1854. Bd. II, S. 61.

Reich an meteorischen Eisenmassen ist ferner die Neue Welt. Auf seiner Polarreise im Jahre 1818 erfuhr Sir John Ross von den an der Baffinsbai wohnenden Eskimos, welche Messer aus Meteoreisen verfertigt hatten, dafs an der Westküste von Grönland mächtige Blöcke gediegenen Eisens umherlägen. Nordenskiöld hat nun im Jahre 1870 das zwischen der Laxe-Bucht und der Disco-Bai gelegene meteoritenreiche Gebiet der Disco-Insel, Ovifak genannt, betreten und hier Eisenstücke gefunden, die in der That sowohl im äufseren Ansehen wie in chemischer Hinsicht dem Meteoreisen gleich und auch aus anderen Gründen (sie zeigten die Widmanstättenschen Figuren, vgl. S. 119 f.) zweifellos Meteorite waren. Über Gröfse und Gewicht dieser grönländischen Eisenmassen giebt Nordenskiöld folgendes an: Den gröfsten ovalen Block von etwa 2 Meter Durchmesser schätzt er auf 500 Centner, einen zweiten von 1,3 und 1,27 Meter Durchmesser auf 200 Centner, einen fast konischen von 1,15 und 0,85 Meter Durchmesser auf 90 Centner, 12 andere nebst verschiedenen linsenförmigen, 8 bis 10 Centimeter dicken Stücken zusammen auf ziemlich 16 Centner. Merkwürdigerweise sind hier einzelne Massen von dem basaltischen Gestein umschlossen, teilweise sogar von diesem überdeckt: ein Umstand, welcher kaum anders als durch die Annahme erklärt werden kann, dafs der Fall des Eisens zu jener Zeit erfolgt ist, in welcher der Basalt als glutflüssige Masse hier hervordrang, also am Ende der Kreide- oder am Anfang der Tertiärperiode[1]). Endlich sind auch in Mexico (Zacatecas), sowie in Colombien (Santa-Rosa), Brasilien und anderen amerikanischen Ländern Meteorite im Gewichte von 20, 140, 300 und 400 Centnern gefunden worden.

Da das Eisen auch sonst manchmal gediegen vorkommt, so dürfen wir nicht immer den Berichten über Entdeckung grofser meteoritischer Eisenmengen unbedingten Glauben schenken. So wird namentlich von Sir W. Parish u. a. bezweifelt, dafs die Eisenblöcke bei Toconao (7½ geogr. Meilen von San Pedro in der bolivianischen Provinz Atacama in Südamerika) Meteorite seien, da nach der Aussage der Eingeborenen auch eine Ader von gediegenem Eisen derselben Art in der dortigen Gegend bestehen soll. Ähnliches gilt von den grofsen Eisenmassen bei Otumpa

[1]) Nach A. Nordenskiölds Redogörelse för en Expedition till Grönland år 1870. Stockholm 1871 — in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXIII (1871), S. 738—745. Von Steenstrup wird der meteorische Ursprung des grönländischen Eisens namentlich mit Rücksicht auf die eigentümlichen Lagerungsverhältnisse desselben bezweifelt. Petermanns Mitteilungen 1883, S. 137.

(in Argentinien, 52 geogr. Meilen östlich von Santiago, der Hauptstadt Chiles)[1]).

Welches sind nun die charakteristischen Eigentümlichkeiten der Meteorite?

Sie sind fast ohne Ausnahme mit einer schwarzen schlackigen Kruste bedeckt, welche sich gewöhnlich kaum einen Millimeter tief in die Substanz des Steins erstreckt. Sie rührt wahrscheinlich davon her, dafs die mit ungeheurer Geschwindigkeit in unsere sauerstoffreiche Atmosphäre gelangenden Meteorite in derselben eine teilweise Verbrennung erleiden (vgl. S. 122 f.), welche indes wegen der kurzen Zeit, die ihr Fall nur in Anspruch nimmt, nicht tiefer in die Oberfläche einzudringen vermag. Von anderer Seite wird die Richtigkeit dieser Erklärung bezweifelt. Dicht unter der papierdünnen Kruste der Meteorite finden sich nämlich bisweilen Stoffe mit völlig unveränderter Färbung, welche sich schon bei gelindem Erhitzen intensiv schwärzen würden. Aufserdem gelangten manche Meteorite (z. B. die am 31. März 1875 bei Zsadány in Ungarn, Temeser Comitat, niedergegangenen) thatsächlich kalt zur Erde. Daher neigen manche Forscher der Ansicht zu, dafs wenigstens in einer Anzahl von Fällen die Glättung der Meteoritenoberfläche auf ein mechanisches Abschleifen, die Lichterscheinung aber lediglich auf die Entzündung einer den Meteoriten zugehörigen Atmosphäre von brennbaren Gasen zurückzuführen ist[2]).

Was die chemische Zusammensetzung der Meteorite betrifft, so ist zunächst darauf hinzuweisen, dafs in ihnen noch kein Element entdeckt worden ist, welches auf Erden fehlt. Hingegen hat man bis jetzt fast die Hälfte, nämlich 27 unserer chemischen Grundstoffe in ihnen wiedererkannt, und zwar Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Chlor, Eisen, Magnesium, Lithium, Silicium, Mangan, Aluminium, Kalium, Natrium, Calcium, Schwefel, Kohlenstoff, Nickel, Zink, Kupfer, Arsenik, Phosphor, Antimon, Blei, Zinn, Kobalt, Chrom, Titan, Selen. Die Meteorite liefern uns also gewissermafsen ein Summarium der Erdbestandteile. Auch haben sich in den Meteoriten die Elemente zu Verbindungen gruppiert, welche nach Constitution und Krystallgestalt vollständig mit denen an der Erdoberfläche übereinstimmen. Es sind dies sehr wichtige Thatsachen, da die Meteorite, wie wir dann noch sehen

[1]) Sir John F. W. Herschel, Physical Geography of the Globe. 5th ed. Edinburgh 1875. p. 278.

[2]) Vgl. hierzu: Paul Reinsch in dem Tagebl. d. 45. Versamml. deutscher Naturforscher und Ärzte. S. 132 ff. Stanislas Meunier in den Comptes rendus. Tome LXXV (1872), p. 499 sq. 890 sq. Clemens Winkler in den Verhandlungen d. K. Leop.-Karol. deutschen Akademie der Naturforscher. Bd. XL (1878), S. 374—381.

werden, wenigstens zum Teil aus extrasolaren Himmelsräumen stammen; denn wir schliefsen daraus, was auch durch die spectroskopischen Untersuchungen des Fixstern- und Planetenlichtes im allgemeinen bestätigt wird, dafs die gesamte Körperwelt aus gleichem Stoffe besteht wie die Erde.

Die verwandtschaftlichen Beziehungen der Meteorite zur Erde würden noch wachsen, wenn sich organische Reste in ihnen nachweisen liefsen. Schon längst führte das Vorkommen bituminöser Substanz, sowie kohliger Bestandteile in den Meteoriten zu der Vermutung, dafs sie einst organisch belebt waren. Nach den an Meteoritenschliffen vorgenommenen mikroskopischen Untersuchungen O. Hahns[1]), welche neuerdings mit gleichem Resultate von D. F. Weinland wiederholt worden sind, ist es nun kaum mehr zweifelhaft, dafs ein Teil der Meteorite fossile Tiere enthält, nämlich Schwämme und Korallen. Dieselben finden sich besonders in einer Klasse von Steinmeteoriten, den sogenannten Chondriten[2]), welche aus einem feinkörnigen Gemenge von Olivin und Chromkies gebildet werden und kleine Kugeln aus Magnesiasilicat enthalten. Es ist dies der erste, nicht blofs auf phantastische Spekulationen gegründete Beweis, dafs auch jenseits der Grenzen unseres Sonnensystems organische Wesen existieren.

Je nachdem von jenen Grundstoffen viel leichte unter die schwereren Metalle sich mischen, schwankt die specifische Schwere der Meteorite zwischen 2 und 8,5; im Mittel aber dürfte sie derjenigen der Erde sehr nahe kommen. Da nun die mittlere Dichte der Erde viel gröfser ist als die der Erdkruste, so darf die Vermutung ausgesprochen werden, dafs die Grundstoffe im Erdinnern in ähnlicher Weise zusammengesetzt sind wie in den Meteoriten.

Im einzelnen sind dieselben hinsichtlich ihrer chemischen Beschaffenheit wesentlich von einander unterschieden. Gustav Rose[3]) teilt sie in dieser Beziehung in zwei Hauptklassen ein: in Eisenmeteorite und Steinmeteorite.

Die Eisenmeteorite bestehen entweder aus gediegenem Eisen, Meteoreisen, das häufig stark nickelhaltig ist, oder aus einer Eisenmasse, welche verschiedene Silicate (z. B. Olivinkörner) einschliefst. Dem Meteoreisen sind die nach ihrem Entdecker bezeichneten Widmanstättenschen Figuren eigentümlich, geradlinige geometrische Figuren, welche hervortreten, sobald man angeschliffene und polierte Flächen von Meteoreisen mit verdünnter Salpetersäure ätzt. Sie be-

[1]) Die Meteorite (Chondrite) und ihre Organismen. 1881.

[2]) Abgeleitet von χόνδρος, Kügelchen, Klümpchen; sie sind durch das massenhafte Vorkommen kleiner Kugeln und Kügelchen ausgezeichnet.

[3]) „Beschreibung und Einteilung der Meteorite“ in den Abhandlungen der Kgl. Akademie d. W. zu Berlin v. J. 1863, S. 23—161.

lehren uns, dafs die ganze Masse aus dünnen Lagen einzelner Krystalle zusammengesetzt und auch in chemischer Beziehung nicht gleichartig ist.

Die Steinmeteorite enthalten hauptsächlich Kieselsäure, Thonerde und Kalk, welche zu Olivin, Enstatit, Broncit und ähnlichen Mineralien verbunden sind; Einsprengungen von metallischem Eisen finden sich auch bei ihnen häufig.

Die letztere Gruppe ist an Zahl der ihr zugehörigen Objekte viel bedeutender als die erstere. Reichenbach hat berechnet, dafs im Durchschnitt jährlich 4000—5000 Meteorite herab auf die Erde fallen, dafs aber auf 24 Steinmeteorite erst 1 Eisenmeteorit kommt [1]). Wenn wir trotzdem fast immer nur von aufgefundenen Eisenmeteoriten hören, so darf uns dies nicht Wunder nehmen, da die Steinmeteorite allmählich verwittern und zerfallen, somit nur dann als Meteorite erkannt werden, wenn sie kurze Zeit nach ihrem Sturze entdeckt werden, während das Meteoreisen Jahrhunderten und Jahrtausenden Trutz zu bieten vermag.

Die spectroskopischen Untersuchungen des Meteoritenlichtes, welche natürlich äufserst schwierig sind und daher bis jetzt noch zu keineswegs sicheren Ergebnissen führten, lehren uns, dafs die Meteorite zum Teil aus gasförmigen, zum Teil aus festen oder flüssigen Stoffen bestehen; denn ihre Spectra sind sowohl Gasspectra, als auch kontinuierliche. Unter den glühenden Gasen hat man namentlich Natrium und Lithium mehrfach mit ziemlicher Sicherheit erkannt.

In manchen Fällen treten die Meteorite als Feuerkugeln auf. Diese Bezeichnung legt man ihnen dann bei, wenn sie hellglänzend die Lüfte durchziehen und mindestens die scheinbare Gröfse der Venus und des Jupiter erreichen; doch ist ihr scheinbarer Durchmesser oft sogar dem des Mondes gleich. Dabei leuchten ihnen bisweilen mehrere Minuten lang prächtige Schweife nach, die sich vielleicht als Phosphorescenzerscheinungen erklären lassen, welche sich in den hocherhitzten, abgerissenen Partikelchen der Meteorite vollziehen. Nicht selten endet ihr Fall unter heftigen Detonationen. Sind die Lichtwirkungen der Meteorite geringer als diejenigen der Venus und des Jupiter, so führen sie den Namen Sternschnuppen. Nun hat man zwar Feuerkugeln beobachtet, welche keinen Meteoritenfall nach sich zogen, andrerseits aber auch Meteoritenfälle (namentlich bei Tage), mit denen kein Feuerschein verbunden war; indessen hat so oft eine Coincidenz beider stattgefunden, dafs wir sie recht wohl als verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Ereignisses auffassen dürfen. Die Sternschnuppen

[1]) Poggendorffs Annalen. Bd. CVI (1859), S. 483.

gelangen wohl niemals zur Erde herab, sondern lösen sich schon in höheren Luftregionen gänzlich auf. Sie fallen in reicher Menge; denn sie fehlen fast in keiner Nacht. Im Durchschnitt kommen auf jede Stunde 4 — 6.

Da Feuerkugeln und Sternschnuppen unvorhergesehen auftauchen und aufserordentlich rasch wieder verschwinden, so ist es unmöglich, die Höhe, in welcher sie aufleuchten, und ihre Geschwindigkeit genau zu ermitteln.

Zur Bestimmung der Höhe, in welcher die Sternschnuppen aufblitzen und erlöschen, bedarf man korrespondierender Beobachtungen an zwei hinreichend weit von einander entfernten Orten, zwischen denen eine telegraphische Verbindung hergestellt ist. Aus dem Abstand jener Orte und den Winkeln, unter denen die Sternschnuppen gesehen worden sind, läfst sich die Höhe des Aufleuchtens, resp. Erlöschens der Sternschnuppen leicht berechnen. Nach Heis [1]) betragen diese beiden Werte durchschnittlich 14 — 15 und 9 — 10 geogr. Meilen; doch erscheinen manche 25 geogr. Meilen und einzelne vielleicht sogar 100 geogr. Meilen über der Erdoberfläche [2]).

Die Geschwindigkeit der Sternschnuppen läfst sich auf theoretischem Wege befriedigend feststellen. Die Erde bewegt sich auf ihrer Bahn um die Sonne in der Sekunde 30400 Meter weit; dies ist zugleich die Geschwindigkeit für jeden Körper, der in gleicher Entfernung wie die Erde eine kreisförmige Bahn um die Sonne beschreibt. Nehmen wir also an, dafs die Bahn der Meteorite eine kreisförmige ist, so würden sie sich bei rechtläufiger Bewegung (d. h. wenn sie in gleichem Sinne wie die Erde fortschreiten) um 0 Meter, bei rückläufiger hingegen um 60800 Meter in der Sekunde der Erde nähern, wobei wir von der Wirkung absehen, welche die Anziehung der Erde auf die Meteorite ausübt. Je nachdem nun ihre Bewegung rechtläufig oder rückläufig ist und die Bahnebenen der Erde und der Meteorite dabei einen kleineren oder gröfseren Winkel mit einander bilden, wird die Geschwindigkeit beim Zusammenstofs dem Minimalwert 0 Meter oder dem Maximalwert 60800 Meter näher kommen.

Wären die angenommenen Verhältnisse richtig, d. h. bewegten sich die Meteorite in kreisförmigen Bahnen um die Sonne, so könnten sich Meteorfälle kaum jemals auf den mittleren Meridianen derjenigen Halbkugel ereignen, welche von der Richtung der Erdbewegung abgewandt liegt, d. h. in der Nähe desjenigen Meridians, für welchen die Sonne

[1]) Resultate der in den 43 Jahren 1833—1875 angestellten Sternschnuppenbeobachtungen. Cöln 1877.

[2]) J. V. Schiaparelli, Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen (übersetzt von G. v. Boguslawski). Stettin 1871. S. 3, Nota 1.

eben untergeht; denn die rückläufigen Meteorite fielen auf der in der Richtung der Erdbewegung liegenden Halbkugel nieder; die der Erde folgenden aber könnten diese nicht ereilen. Da jedoch Sternschnuppen auch zur Zeit der Abenddämmerung gesehen werden, so müssen wir annehmen, dafs ihre Geschwindigkeit viel bedeutender ist als die der Erde; daraus aber folgt, dafs ihre Bahnen nicht planetarischer Natur sind, somit nicht Kreise oder vielmehr Ellipsen von geringer Excentricität darstellen, sondern stark excentrische Ellipsen oder wohl gar Parabeln.

Je mehr sich die grofse Achse der Ellipse, in welcher sich ein Meteorit bewegt, vergröfsert, um so schneller wird er das Perihel passieren, am schnellsten aber, wenn die grofse Achse unendlich ist, also die Ellipse zu einer Parabel wird. Dann verhält sich die Geschwindigkeit der Erde zu der des hier in Betracht kommenden Körpers wie $1 : \sqrt{2}$; die Geschwindigkeit des letzteren ist demnach gleich $30400 . \sqrt{2}$ oder 43107 Meter in der Sekunde. Dies ist die Maximalgeschwindigkeit eines Körpers, welcher sich nach den Gravitationsgesetzen in einer parabolischen Bahn um die Sonne bewegt und im Perihel gleichweit von der Sonne entfernt ist wie im Mittel die Erde. Fallen die Bahnebenen der Erde und des eine Parabel beschreibenden Meteoriten zusammen, so beträgt die relative Geschwindigkeit beider im Momente des Zusammenstofses $30400 + 43107 = 73507$ Meter, wenn die Bewegung des Meteoriten eine rückläufige, hingegen nur $43107 - 30400 = 12707$ Meter, wenn dieselbe eine rechtläufige ist. Zwischen diesen beiden Grenzwerten würden je nach dem Winkel, welchen die beiden Bahnebenen mit einander bilden, die Geschwindigkeiten variieren, mit denen in parabolischen Bahnen ziehende Meteorite auf die Erde fallen. Die Beschleunigung jener Geschwindigkeit durch die Anziehungskraft der Erde dürfen wir hier vernachlässigen, da dieselbe verhältnismäfsig unbedeutend ist.

Aus der rapiden Schnelligkeit, mit welcher die Meteorite in unsere Atmosphäre eintreten, erklärt sich die so häufig mit ihrem Niederfall verbundene Lichterscheinung. Ist auch der Luftwiderstand in den oberen Regionen der Atmosphäre wegen der aufserordentlichen Verdünnung derselben viel geringer als unten, so ist er doch ansehnlich genug, die kosmische Geschwindigkeit der Meteorite bedeutend zu verzögern [1]). Augenblicklich verwandelt sich infolge dieser Hemmung ein Teil der lebendigen Kraft in Wärme, also Massenbewegung in Molekularbewegung, und die auf diese Weise erzeugte Wärme reicht hin, den herabstürzenden Körper bis zur Weifsglut zu erhitzen. So würde ein aus einem Silicat bestehender Meteorit, wenn der auf seiner Bahn

[1]) J. V. Schiaparelli, l. c. S. 17 ff.

rechtwinklige Querschnitt desselben 1 Quadratdecimeter, seine mittlere Geschwindigkeit 30000 Meter in der Sekunde betrüge und die mittlere Dichtigkeit der von ihm durchlaufenen Luftschicht 10000 mal geringer wäre als die Dichtigkeit der Luft am Meeresspiegel, eine Temperaturerhöhung von 6398° C. erfahren, wovon der vierte Teil schon genügen würde, ihn in die hellste Weifsglut zu versetzen. Derartige Temperaturen verursachen nicht blofs das helle Aufleuchten, sondern auch die völlige Auflösung und Zerstörung der kleineren Meteorite. Ihnen gegenüber bildet also unsere Atmosphäre eine Art Panzer, durch welchen wir vor einem verderblichen Bombardement von Meteoriten geschützt sind [1]).

Sir A. Herschel hat aus dem Lichtwert der Sternschnuppen unter Berücksichtigung ihrer durchschnittlichen Entfernung ihre Masse berechnet und ist hierbei zu folgendem Resultate gelangt:

Glanz wie Jupiter	2996	Gramm
„ „ Sirius	358	„
„ „ Wega	29	„
„ „ α Persei	6	„

Da jedoch der Lichtwert der Sternschnuppen in den meisten Fällen weit hinter dem von α Persei zurückbleibt, so dürfte ihre Masse meist nur wenige Bruchteile eines Gramms betragen.

Bemerkenswert ist, dafs die Sternschnuppen an gewissen Tagen des Jahres, besonders in der Zeit vom 12. bis 14. November und an dem 10. August (dem Tage des heiligen Laurentius) in grofser Anzahl erscheinen. Die auffallend vielen Sternschnuppenschwärme des letzteren Tages werden schon in einem alten englischen Kirchenkalender mit dem Namen „Thränen des heiligen Laurentius“ bezeichnet. Aufserdem werden der 2. und 3. Januar, der 20. April, der 18. bis 20. Oktober und der Anfang des Dezember als meteoritenreich bezeichnet.

Dem Novemberphänomen widmete man eine gröfsere Aufmerksamkeit seit der denkwürdigen Nacht vom 11. zum 12. November des Jahres 1799, in welcher A. v. Humboldt in Cumaná (Venezuela) ein überraschend grofsartiges Schauspiel beobachtete [2]). Tausende von Feuerkugeln und Sternschnuppen fielen herab und zwar vier Stunden lang. A. v. Humboldt zog später überall Erkundigungen ein, wo man das Phänomen wahrgenommen hatte, und stellte, nach Europa

[1]) Joh. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik. 4. Aufl. Braunschweig 1875. S. 246—249.

[2]) H. Hauff, Humboldts Reise in die Äquinoctialgegenden des neuen Kontinents. Stuttgart 1859. S. 68 ff. und: A. v. Humboldt, eine wissenschaftliche Biographie. Herausgeg. v. Karl Bruhns. Leipzig 1872. Bd. III, S. 14 ff.

zurückgekehrt, fest, dafs der Sternschnuppenfall von Weimar bis an den Rio Negro, vom Rio Negro bis nach Herrnhut in Grönland auf einem Flächenraum von 921 000 Quadratmeilen gesehen worden war.

A. v. Humboldt berichtet uns: Die ältesten Bewohner von Cumaná erinnerten sich, dafs dem grofsen Erdbeben des Jahres 1766 ein ganz ähnliches Phänomen vorausgegangen war. Als nun in den Jahren 1832 und 1833 wieder ein überaus imposanter Sternschnuppenregen erfolgte (1833 zählte man in Nordamerika innerhalb 9 Stunden über 300 000 Sternschnuppen), vermutete man eine periodische Wiederkehr der Erscheinung in 33¼ Jahren. In der That hat sich diese Erwartung in den Jahren 1866, 1867 und 1868 glänzend bestätigt.

Bei dem Meteoritenfall im November 1833 machte Olmstedt die wichtige Entdeckung, dafs die meisten Meteorite von einem einzigen Punkte des Himmels strahlenförmig nach allen Richtungen hin auszugehen schienen, wie etwa die Lichtstreifen eines Raketenbündels beim Niederfallen desselben. Jener Punkt, den man als Ausstrahlungs- oder Radiationspunkt bezeichnet, liegt nach neueren Bestimmungen zwischen den Sternen ε und μ leonis, weshalb man die Meteorite des Novemberschwarms auch als Leoniden bezeichnet. Doch ist diese strahlenförmige Anordnung der Meteorite nur eine scheinbare; vielmehr dürfen wir aus derselben auf einen Parallelismus ihrer Bahnen schliefsen. Wir erläutern dies an folgendem Beispiele:

Auf einer Ebene möge sich eine Anzahl paralleler, geradliniger Pappelreihen befinden und am Anfang dieser Alleen ein Turm. Besteigen wir diesen, um die Ebene zu überschauen, so macht es den Eindruck, als ob sich alle jene Baumreihen, obgleich parallel, in einem und demselben Punkte am Horizonte treffen; ja die äufsersten von ihnen vereinigen sich vielleicht für unser Auge unter einem rechten Winkel. Genau so ist es mit den Sternschnuppen. Sie bewegen sich sämtlich parallel aus einer für das menschliche Auge unendlichen Ferne, und die notwendige perspektivische Wirkung ist es, dafs sie, je näher sie uns kommen, um so mehr fächerförmig auseinander weichen. Somit giebt uns eine gerade Linie von dem bezeichneten Radiationspunkte nach derjenigen Stelle, wo sich die Erde in der Nacht vom 13. zum 14. November befindet, die Richtung an, in welcher die Meteorite an den genannten Tagen die Erde treffen.

Der Radiationspunkt der Laurentiusschwärme wurde erst später ermittelt; derselbe ist nach Heis der Stern Algol im Perseus, weshalb Schiaparelli die Augustmeteorite Perseiden genannt hat.

Um die Periodicität der Sternschnuppenfälle zu erklären, nahm man früher an, dafs grofse Meteoritenscharen, einen mächtigen Ring bildend, die Sonne in planetarischen, also wenig excentrischen Bahnen

umkreisen und die Erdbahn im August und November durchschneiden. Doch ist diese Annahme nicht haltbar, da die Meteorite schon durch ihre rückläufige Bewegung verraten, dafs sie extrasolare Gäste im Sonnensystem sind, was aufserdem noch durch ihre relativ grofse Geschwindigkeit bestätigt wird. Man mufs deshalb annehmen, dafs die Bahnen der Meteorite, denen die Erde am 10. August und am 12. bis 14. November begegnet, langgestreckte Ellipsen sind, welche die Erdbahn in einem ihrem Perihel nahen Punkte schneiden. Da eine stark excentrische elliptische Bahn in der Nähe ihres Perihels mit einer parabolischen desselben Brennpunktes und Perihels nahezu zusammenfällt, so dürfen wir hier für die Ellipse eine Parabel substituieren.

Zur Konstruktion einer Parabel sind drei Elemente nötig: ihr Brennpunkt, ein Punkt der Kurve und die Richtung der Tangente, welche in diesem Punkte die Parabel berührt. Diese drei Data besitzen wir sowohl für die August-, als auch für die Novembermeteorite. Der Brennpunkt der parabolischen Bahn ist die Sonne; ein Punkt in dieser Bahn ist der Ort, an welchem sich die Erde im August, resp. November befindet, und die Tangente, welche in diesem Punkte die Parabel berührt, ist die Linie, welche wir uns von dem Radiationspunkte eines Sternschnuppenschwarmes nach der in Betracht kommenden Position der Erde gezogen denken.

In dem folgenden geben wir die Elemente der parabolischen Bahn der Perseiden (des Augustschwarmes) nach Schiaparellis Berechnung [1]):

Durchgang durch das Perihel	Juli 23,62
Durchgang durch den niedersteigenden Knoten . . .	August 10,75
Länge des Perihels	343° 38′
Länge des aufsteigenden Knotens	138° 16′
Neigung der Bahn	64° 3′
Periheldistanz	0,9643
Umlaufszeit	108 Jahre(?)
Bewegung	rückläufig [2]).

[1]) J. V. Schiaparelli, Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen (übersetzt von G. v. Boguslawski). Stettin 1871. S. 53.

[2]) Die Länge des Perihels ist die astronomische Länge der Parabelachse oder der Winkel, welchen diese Achse, projiziert auf die Ebene der Ekliptik, mit der von der Sonne nach dem Frühlingspunkte gezogenen Linie macht. Unter dem aufsteigenden Knoten versteht man denjenigen Punkt, in welchem die Meteorite von der Südseite der Ekliptik auf die Nordseite übertreten. Er wird ebenfalls bezeichnet durch die astronomische Länge, vom Frühlingspunkte aus gerechnet. Durch den aufsteigenden Knoten wird die

Der Perseiden-(August-)schwarm sendet in jedem Jahre der Erde eine annähernd gleiche Menge von Sternschnuppen zu, während das Novemberphänomen, wie oben gezeigt wurde, in Perioden von 33¼ Jahren besonders glanzvoll auftritt. Hieraus dürfen wir schliefsen, dafs die Perseiden gleichmäfsig innerhalb des ganzen Ringes verteilt sind, während sich im Leoniden-(November-)ring an einer Stelle, wo gewissermafsen der Edelstein im Reife sitzt, eine auffallend grofse Zusammenscharung der Massen vorfinden mufs. Da diese regelmäfsig in 33¼ Jahren zurückkehrt, so erkennen wir hieraus die Umlaufszeit der Leoniden. Benützt man die Umlaufszeit in Verbindung mit den übrigen oben genannten Daten, welche zur Berechnung einer parabolischen Bahn erforderlich sind, so lässt sich die elliptische Bahn des Schwarmes berechnen. Nach Schiaparelli[1]) sind folgendes die Elemente der Leonidenbahn:

Periheldurchgang 1866 [2])	November 10,1
Durchgang durch den absteig. Knoten	" 13,6
Länge des Perihels	56° 26′
Länge des aufsteigenden Knotens	231° 28′
Neigung der Bahn	17° 44′
Periheldistanz	0,9873
Excentricität [3])	0,9046
Halbe grofse Achse	10,34
Umlaufszeit (in Jahren)	33,25
Bewegung	rückläufig.

Die Apheldistanz des Novemberschwarmes beträgt demnach 19,69 Sonnenweiten; sie reicht also nur wenig über die Uranusbahn hinaus. Aus der Konstruktion dieser Bahn ergiebt sich übrigens deutlich, dafs es der Planet Uranus gewesen ist, welcher durch seine Anziehung den Novemberschwarm zur Einwanderung in unser Sonnensystem gezwungen und ihm seine jetzige Bahngestalt auferlegt hat. Dies geschah nach Leverriers Berechnung im Jahre 126 n. Chr. [4]).

Aus dem obigen geht hervor, dafs sich die Meteoritenbahnen von

Lage der geraden Linie bestimmt, in welcher die Ebene der Erdbahn von der Ebene der Meteoritenbahn geschnitten wird. Die Neigung der Bahn ist der Winkel, den die Bahnebene der Meteorite mit der Erdbahnebene bildet. Die Periheldistanz endlich ist die Entfernung der Meteorite von der Sonne bei gröfster Sonnennähe. Als Mafseinheit bedient man sich des mittleren Abstandes der Erde von der Sonne.

[1]) l. c. S. 57.

[2]) Die Zeit der Durchgänge ist nach Mailänder Uhr angegeben.

[3]) Vgl. S. 85, Nota 2.

[4]) Comptes rendus. Tome LXIV (1867), p. 94—99.

den Planetenbahnen wesentlich unterscheiden. Sie sind nicht annähernd kreisförmig wie diese, sondern stellen Parabeln oder langgestreckte Ellipsen dar; ferner bilden ihre Bahnebenen mit derjenigen der Erde bedeutende Winkel. Endlich ist ihre Bewegung in den vorliegenden Fällen rückläufig, also der Bewegungsrichtung aller Planeten entgegen gesetzt.

Wahrscheinlich giebt es Tausende von Meteorringen in den weiten Räumen des Sonnensystems; sie bleiben uns jedoch unsichtbar, da sie die Erdbahn nicht berühren. Auch vom August- und Novemberring gewahren wir selbst in den stärksten Fernrohren nichts aufser zu der Zeit, wo die Erde durch sie hindurchgeht.

Aufserordentlich bedeutsam ist noch die von Schiaparelli am 31. Dezember 1866 in dem meteorologischen Bulletin des Collegio Romano veröffentlichte Entdeckung, dafs der Komet III des Jahres 1862 fast genau dieselbe Bahn zieht wie die Perseiden; denn seine Bahnelemente sind nach Oppolzer [1]):

Periheldurchgang	August 22,9
Länge des Perihels	344° 41′
Länge des aufsteigenden Knotens	137° 27′
Neigung der Bahn	66° 26′
Periheldistanz	0,9626
Umlaufszeit	121,5 Jahre
Bewegung	rückläufig.

Somit ist jener Komet offenbar ein Glied des Perseidenringes. Er vollendet seinen Umlauf um die Sonne in 121,5 Jahren, und dies dürfte wahrscheinlich auch die Umlaufszeit der Perseiden sein. Bei seiner gröfsten Sonnenferne ist er mehr als 1½ mal so weit von der Sonne entfernt als Neptun.

Ebenso stimmen nach den Berechnungen von Schiaparelli, Oppolzer, Peters und Leverrier die Bahnelemente des Kometen I von 1866 (des Tempelschen Kometen) nahezu mit denen der Leoniden überein; denn nach Oppolzer [2]) sind jene:

Durchgang durch das Perihel 1866	Januar 11,16
Länge des Perihels	60° 28′
Länge des aufsteigenden Knotens	231° 26′
Neigung der Bahn	17° 18′
Periheldistanz	0,9765
Excentricität	0,9054
Halbe grofse Achse	10,324

[1]) Astronomische Nachrichten. Bd. LXIX, Nr. 1638.
[2]) Astronomische Nachrichten. Bd. LXVIII, Nr. 1624.

Umlaufszeit (in Jahren)	33,176
Bewegung	rückläufig.

Dieser Komet ist also in den Leonidenring eingeschaltet. In gleicher Weise scheint der Komet I des Jahres 1861 dem Ring der Aprilmeteorite (Lyraiden) und der Bielasche Komet dem der Dezembermeteorite (Tauriden) anzugehören [1]).

Aus jenen wichtigen Entdeckungen der mathematischen Astronomie ergiebt sich vorläufig nur mit Sicherheit, dafs mehrere Kometen genau dieselbe Bahn durchlaufen wie gewisse Sternschnuppenschwärme. Es liegt nun die Vermutung nahe, dafs die Sternschnuppen und Kometen gleichen Ursprungs sind. Manche Forscher gingen sogar noch einen Schritt weiter und leiteten aus der Gleichheit der Bahnen von Sternschnuppen und Kometen die Übereinstimmung ihrer physischen Beschaffenheit ab; die Dunsthüllen und Schweife der Kometen sollten nach ihrer Meinung nichts anderes sein als die aus grofser Entfernung gesehenen Meteorschwärme. So sagt Secchi mit Beziehung auf die oben erwähnte Entdeckung Schiaparellis: „Es ist klar, dafs diese neuesten Resultate der wissenschaftlichen Forschung über die Sternschnuppen auch über die Natur der Kometen ein neues Licht verbreitet haben; diese Himmelskörper erscheinen nunmehr als mächtige Sternschnuppenschwärme oder vielmehr als Anhäufungen von meteorischen Körperchen, die aus Nebelflecken abstammen und daher unserem Sonnensystem ursprünglich nicht angehören“ [2]). In ähnlicher Weise bemerkt Zech: „Kometen und Asteroiden sind nichts Verschiedenes; ein Komet ist entweder ein Teil eines Asteroidenringes, eine besonders dichte Ansammlung kleiner Körper, oder er ist das Ursprüngliche, aus welchem sich durch Auflösung ein Asteroidenring bildet“ [3]).

Wir müssen uns jedoch davor hüten, Meteorite und Kometen in allzunahe Beziehungen zn einander zu bringen. Zwar bewegen sich beide vielleicht häufig in gemeinsamen Bahnen und belehren uns so über die ursprüngliche Zusammengehörigkeit ihrer Stoffe in ähnlicher Weise, wie die Harmonie in den Planetenbewegungen uns auf den gemeinsamen Ursprung sämtlicher Planeten hinweist. Doch sind Meteorite und Kometen trotz alledem durch tiefgreifende Unterschiede von einander getrennt. Die Kometen sind flüssige oder gasförmige Massen, welche im freien Weltraume leuchten, die Meteorite hingegen kleine,

[1]) Edmund Weifs: „Beiträge zur Kenntnis der Sternschnuppen“ in den Sitzungsberichten d. math.-naturwiss. Klasse d. K. Akad. d. Wissenschaften zu Wien. Bd. LVII (1868), Abt. 2, S. 281 ff.

[2]) A. Secchi, Die Sonne. Übersetzt von H. Schellen. Braunschweig 1872. S. 754.

[3]) Zech, Himmel und Erde. München 1870. S. 105.

feste Körper, die erst dann in Glut versetzt werden, wenn sie in das Bereich unserer Atmosphäre eintreten. Dieser Verschiedenheit liegt offenbar eine chemische Differenz zu Grunde: die Kometen bestehen aus Stoffen, die bereits bei niederer Temperatur weifsglühen, während die Meteorite erst bei hohen Wärmegraden Weifsglühhitze annehmen[1]). Auch dürfen wir die Kometen schon deshalb nicht als Meteoritenschwärme ansehen, weil ihre Schweife nicht die Richtung der Kometenbahnen teilen, sondern sich rechtwinklig von diesen entfernen[2]). Aus den nachfolgenden Betrachtungen der Kometen wird noch deutlicher hervorgehen, dafs wir diese als völlig selbständige Glieder von Meteoritenschwärmen anzuerkennen haben.

[1]) J. Norman Lockyer in Nature. Vol. X, Nr. 245 (9. July 1874), p. 181.

[2]) Vgl. hierzu F. Zöllner in den Berichten über die Verhandlungen d. Kgl. Sächs. Gesellschaft d. W., math.-phys. Klasse: Sitzung am 12. Dezember 1872, S. 310—316.

VI. Die Kometen.

Der Volksaberglaube betrachtet die Kometen als Vorboten von Krieg, Pest und Teurung, überhaupt von unglücklichen Ereignissen. So soll beispielsweise der grofse Donatische Komet (1858) den österreichisch-französischen Krieg des Jahres 1859 angekündigt haben. Welche Wahrheit in diesem Volksaberglauben liegt, läfst sich am besten aus der Frequenz der Kometen ermessen. In den sieben halben Jahrhunderten von 1500 bis 1850 sind zusammen 52 dem blofsen Auge sichtbare Kometen in Europa erschienen: nämlich von 1500 bis 1550 13, von 1550 bis 1600 10, von 1600 bis 1650 (im Zeitalter des dreifsigjährigen Krieges!) 2, von 1650 bis 1700 10, von 1700 bis 1750 4, von 1750 bis 1800 4, von 1800 bis 1850 9[1]). Die sichtbaren Kometen tauchen also in nicht allzugrofser Menge auf. Hingegen sind die teleskopischen Kometen äufserst zahlreich, nach Keplers Ausdruck so häufig „wie die Fische im Meere“. Da nun in jedem Jahre Kometen erscheinen und ebenso in jedem Jahre Unheil geschieht, so kann auch kein Unglück auf Erden sich zutragen, dessen Anstiftung nicht ein Komet verdächtigt werden könnte, und umgekehrt kann jeder Komet sicher sein, dafs seiner Annäherung zu Ehren ein schlimmes Ereignis sich irgendwo zutrage. Es kann den Kometen gehen, meint Arago scherzhaft, wie jener Pariser Dame, welche bemerkt hatte, dafs, so oft sie in der Rue Saint-Honoré, also an einem der belebtesten Punkte der französischen Hauptstadt, zum Fenster hinaussah, ein Wagen vorüberfuhr und die sich zuletzt einbildete, sie sei die einzige Ursache von diesem lebhaften Verkehr.

Die Gestalt der Kometen erleidet mannigfache Umwandlungen. Wenn ein Komet aus den Tiefen des Weltalls hervortritt, also noch weit von der Sonne entfernt und auch nur teleskopisch sichtbar ist,

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III, S. 576 f..

gleicht er meist einem schwach leuchtenden, runden oder ovalen Nebelfleck. Sein Centrum ist durch gröfseren Glanz ausgezeichnet, als ob daselbst eine Kondensation stattgefunden hätte; seine Ränder hingegen erscheinen verschwommen. Nähert sich der Komet allmählich seinem Perihel, so verlängert sich jenes nebelige Gebilde in der Richtung des Leitstrahles (radius vector), d. h. in der Richtung derjenigen geraden Linie, welche von der Sonne nach dem Kometen geführt werden könnte, wobei sich zugleich die heller leuchtende Masse aus der Mitte nach der der Sonne zugekehrten Seite verschiebt. So bildet sich schliefslich nach der Sonnenseite hin der Kopf des Kometen, welcher aus einem hellen Mittelpunkt (Kern) und einer dunstartigen Hülle (Coma) besteht und von dem ein langer Strom mattweifsen Lichtes, der Schweif, ausgeht. Die bisweilen merkwürdig gestaltete Dunsthülle ist gewöhnlich auf der der Sonne zugekehrten Seite am schärfsten begrenzt.

Der Schweif ist fast stets von der Sonne abgewandt. Meistens entspricht seine Richtung einer geraden Linie von der Sonne nach dem Kopfe des Kometen; bei gröfserer Entwicklung jedoch ist er stets zurückgebogen, d. h. seine konvexe Wölbung ist derjenigen Seite zugekehrt, gegen welche er sich bewegt, als ob sein Lauf durch ein hemmendes Medium hindurchführt, wobei der Schweif nur mühsam dem hastiger eilenden Kopfe zu folgen vermag. Doch ist die gekrümmte Achse dieses Schweifes immer in der Bahnebene des Kometen gelegen. Aus dieser Thatsache erklärt sich die Verschiedenheit des Anblicks, welchen die Kometenschweife unserm Auge darbieten. Sie erscheinen gerade, sobald sich der Beobachter in der Ebene der Achse des Schweifes, d. h. in der Bahnebene des Kometen befindet, gekrümmt hingegen, wenn sich die Erde aus derselben entfernt, wie etwa ein Säbel, von welchem wir zuerst die Schneide und dann die Plattseite sehen.

In der Nähe des Perihels erreicht der Schweif seine schönste Entfaltung. Sowie der Komet dasselbe überschritten hat, wird der Schweif kleiner und weicht allmählich einer blofsen Verlängerung des Kopfes. Der Komet erhält hierauf wieder jene sphärische Form mit dem relativ glanzvollen Kerne und verschwindet endlich als matt leuchtendes Nebelgebilde im Weltraum.

Die Kometenentwicklung nimmt jedoch nicht immer den geschilderten Verlauf. Oft sind hell leuchtende Kometen nur mit kurzen und matt glänzenden Schweifen versehen; andere entbehren derselben gänzlich. Die Kometen von 1585 und 1763 zeigten keine Spur von einem Schweife; ebenso beschreibt uns Cassini die von 1665 und 1682 als rund und wohl begrenzt wie Jupiter. Doch giebt es auch Kometen, welche mehrere Schweife besitzen. Der Komet vom Jahre 1744 hatte

deren sogar sechs, welche fächerartig vom Kopfe ausgingen und von denen jeder 4 Grad breit und 30 bis 40 Grad lang war. Bei dem hell leuchtenden Kometen von 1807 teilte sich der Schweif in zwei einen spitzen Winkel darstellende Äste. Der Doppelschweif des Kometen II vom Jahre 1877 [1]) stellte einen Winkel von 95 Grad dar [2]). Hingegen bildeten die beiden Schweife des kleinen Kometen von 1823 einen Winkel von ungefähr 160 Grad; der glänzendere der Schweife war, wie gewöhnlich, von der Sonne abgekehrt, der andere, matt leuchtende aber gegen sie gerichtet [3]).

Die Dimensionen der Kometenschweife sind vielfach ganz ungeheure. Der Schweif des grofsen Kometen von 1680 hatte nach Newtons Messung unmittelbar nach seinem Durchgange durch das Perihel eine Länge von 15 Millionen geogr. Meilen, während seine gröfste Länge 31 Millionen geogr. Meilen betrug, eine Länge, welche den Abstand der Erde von der Sonne ansehnlich übertrifft. Der Schweif des Kometen von 1769 erstreckte sich von seinem Kopfe an 12 Millionen geogr. Meilen und der des grofsen Kometen von 1811 27 Millionen geogr. Meilen weit in den Weltraum hinaus [4]). Dazu erreichte das Haupt des letzteren nahezu die Dimensionen der Sonne; denn sein Durchmesser war gleich 187 500 geogr. Meilen. Ferner hatte der Schweif des Kometen von 1843 eine Länge von 45 Millionen geogr. Meilen; er war also doppelt so grofs als der Abstand der Erde von der Sonne. Die Dimensionen des Donatischen Kometen (1858) waren bescheidener; denn der Durchmesser seines Kopfes betrug nur 10 000 geogr. Meilen, die Länge seines Schweifes $10^1/_2$ Millionen geogr. Meilen. Nehmen wir an, dafs der letztere eine konische Gestalt besafs, so hätte er etwa 1000 Sonnen in sich fassen können; da jedoch die Kometenschweife plattgedrückt sind, so mufs diese Ziffer etwa auf die Hälfte reduziert werden. Immerhin ersehen wir, dafs die Erde, die schon sehr klein neben der Sonne erscheint, im Vergleich zu dem gigantischen Körper eines Kometen fast nur ein Punkt ist.

Andrerseits aber deutet alles darauf hin, dafs die Masse, aus welcher die Kometen bestehen, aufserordentlich dünn ist. Namentlich geht dies daraus hervor, dafs die Sterne durch den Schweif eines Kometen gesehen werden, als ob dieser gar nicht bestünde; ebenso gestattet der viel dichtere und heller leuchtende Kopf dem Sternenlichte den Durch-

[1]) Man bezeichnet die Kometen eines Jahres mit Rücksicht auf die Ordnung ihrer Perihelzeiten mit I, II, III etc.

[2]) Astronomische Nachrichten. Bd. LXXXIX (1877), Nr. 2124, Sp. 179 f.

[3]) Sir John Herschel, Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. § 557, p. 372 sq.

[4]) Sir John Herschel, l. c. § 566, p. 378.

gang. Lange Zeit war es unentschieden, ob nicht wenigstens der Kern des Kopfes eine kompaktere, undurchsichtige Masse sei. Prüfungen mit mächtigen Teleskopen haben zu dem Ergebnis geführt, dafs auch dieser durchsichtig ist. So hat W. Struve sogar einen Stern zehnter Lichtstärke durch den Kern des Halleyschen Kometen erblickt, und dieser Stern war nur 2 Bogensekunden vom Mittelpunkte desselben entfernt. Wenn wir bedenken, dafs ein Nebel von tausend oder selbst von hundert Metern Dicke genügt, die Sterne des nächtlichen Himmels unseren Blicken gänzlich zu entziehen, während eine 10000 bis 15000 geogr. Meilen mächtige kometarische Masse kaum ihren Glanz schwächt, so kann es keinem Zweifel unterliegen, dafs dieselbe in hohem Grade dünn ist. Daher vermögen auch Planeten, in deren Nähe Kometen kommen, — und zwar nicht blofs Jupiter, sondern sogar der kleine Merkur — die Kometen in ihren Bahnen bedeutend zu stören, während nicht die mindeste Rückwirkung von Seiten der Kometen auf die Planeten, nicht einmal auf die kleinen Jupitermonde bemerkbar wird. So ging der Lexellsche Komet vom Jahre 1770 zweimal — 1767 und 1779 — durch das System der vier Jupitermonde, ohne die geringste merkbare Veränderung in ihrer Bahn hervorzubringen: ein Beweis dafür, dafs die Dichtigkeit dieses Kometen eine verschwindend geringe war. Laplace schlofs daraus, dafs seine Masse weniger als $^1/_{5000}$ der Erdmasse betrug. Nach Fayes Berechnungen ist der Kern der Kometen, welcher den kompaktesten Teil derselben bildet, kaum 9mal dichter als die Luft, die in unseren pneumatischen Maschinen zurückbleibt, nachdem wir diese so vollständig wie möglich luftleer gemacht haben, und was die Dichtigkeit der Kometenschweife betrifft, so soll sie zehnbillionenmal geringer sein.

Die Bahn eines Kometen kann möglicherweise eine Hyperbel oder eine Parabel oder endlich eine Ellipse, seine Bewegung eine rückläufige oder rechtläufige sein [1]). Die Bahnelemente sind also ganz denen der Meteoritenbahnen entsprechend. Beschreibt ein Komet eine der beiden erstgenannten Linien, so kann er uns nur einmal erscheinen; er kommt als extrasolarer Gast gewissermafsen aus unendlicher Ferne in unser Sonnensystem, um nach kurzem Aufenthalt für immer aus demselben zu verschwinden. Ein Komet kehrt nur dann wieder in die

[1]) Der erste, welcher die Kometenbahnen als Parabeln erkannte, war Johann Hevelius (1668). Ebenso nahm derselbe bereits stillschweigend die Sonne als Brennpunkt dieser Parabeln an; doch sprach dies erst Dörfel, Diakon zu Plauen im Vogtlande, 13 Jahre später (1681) nach der Erscheinung des grofsen Kometen von 1680 mit klaren Worten aus. (Gustav Hoffmann in dem Programm der Annen-Realschule zu Dresden von 1870. S. 37—49.) Durch Newtons grofse Entdeckungen sollte jene Annahme bald ihre wissenschaftliche Begründung erhalten.

Sonnennähe, also in unseren Gesichtskreis zurück, wenn seine Bahn eine elliptische ist; in diesem Falle muſs er als ein permanentes Glied unseres Sonnensystems betrachtet werden. Doch können Kometen durch die anziehenden Kräfte der Planeten eine vollständige Änderung ihrer Bahn erleiden. Die parabolische Bahn eines Kometen wird nämlich bei der geringsten Verzögerung seiner Bewegung in eine Ellipse, bei der geringsten Beschleunigung in eine Hyperbel verwandelt. Die Kometen nähern sich also niemals ungestraft einem Planeten, der sie mächtig anzuziehen vermag. Ihre gröſste Gefahr droht ihnen daher immer in der Nähe der Jupiterbahn; die Jupiterwelt ist, wie Sir John Herschel geistreich bemerkt, der Stein, über welchen die meisten Kometen stolpern.

Da die Kometen wegen ihres geringen Gewichtes auſserordentlich leicht aus ihren Bahnen gedrängt werden, so läſst sich ihre Wiederkehr niemals mit Sicherheit behaupten. Der nach dem Astronomen Lexell benannte Komet von 1770 bewegte sich auf einer elliptischen Bahn, die etwas auſserhalb der Jupiter- und innerhalb der Venusbahn gelegen war und von dem Kometen in etwa $5^1/_2$ Jahren durchlaufen wurde. Als der Komet aber nicht bloſs im Jahre 1776, wo er wegen seiner Stellung zur Sonne nicht wohl sichtbar sein konnte, sondern auch im Jahre 1781 sich den Blicken der irdischen Beschauer entzog, so begann man seine Bewegungen genauer nachzurechnen, und es ergab sich, daſs der Komet in das Bereich des starken Jupiter geraten und ihm noch näher gekommen war als der vierte Mond; in dieser Stellung aber zog ihn der gewaltige Planet 200mal stärker an als die Sonne. Dadurch wurde der Komet gänzlich von seiner früheren Bahn abgelenkt, und er eilte in neue Fernen hinaus. Hatte Jupiter also das Lexellsche Gestirn zu einem Kometen von kurzer Periode umgewandelt, so nahm er später im Jahre 1779 wieder durch das Spiel seiner Anziehungskräfte, was er der Erde zuvor beschert hatte.

Ähnliches ereignete sich mit dem bereits in den Jahren 1772 und 1805 erschienenen Bielaschen Kometen. Biela, der ihn im Jahre 1826 beobachtete, wies nach, daſs er seinen Weg um die Sonne in 6,6 Jahren vollende. Im Dezember 1845 bemerkte Maury zu Washington, daſs er sich in zwei etwa 40000 geogr. Meilen von einander entfernte Kometen von ähnlicher Gestalt aber ungleicher Dimension geteilt hatte; beide bestanden aus Kopf und Schweif. Bei der nächsten Wiederkehr im Jahre 1852 hatte sich ihr gegenseitiger Abstand auf 350000 geogr. Meilen, also fast um das 9fache vergröſsert. Im Jahre 1859 konnten sie wegen ihrer Stellung zur Sonne nicht gesehen werden; doch trat auch die im Winter 1865/66 erwartete Wiederkehr nicht ein. Als am 27. November 1872 zahlreiche

Sternschnuppen fielen, deren parabolische Elemente mit den entsprechenden Elementen des Bielaschen Kometen nahezu übereinstimmten, deren Bahnen er also offenbar folgt, telegraphierte Klinkerfues wenige Tage darauf nach Madras und forderte den dortigen Astronom Pogson auf, den Bielaschen Kometen an derjenigen Stelle des südlichen Himmels zu suchen, welche dem Radiationspunkte jener Sternschnuppen (γ Andromedae) diametral gegenüber liegt, also in der Nähe von ϑ Centauri. Wirklich entdeckte Pogson in der Nacht vom 2. zum 3. Dezember einen schwachen Kometen, der nach der Annahme einiger Astronomen mit einem der beiden Köpfe von Bielas Komet identisch ist. Von anderer Seite wird dies freilich bezweifelt, da dieser Komet den früheren Bestimmungen zufolge sein Perihel bereits am 6. Oktober 1872 passiert hat, nach zwei Monaten also schon weit von dem Orte entfernt sein mufste, an welchem sich der Pogsonsche Komet am 3. Dezember befand[1]. Es ist daher wahrscheinlich, dafs jener Dual das Schicksal des Goetheschen Fischerknaben erlitten hat: er ward nicht mehr geseh'n.

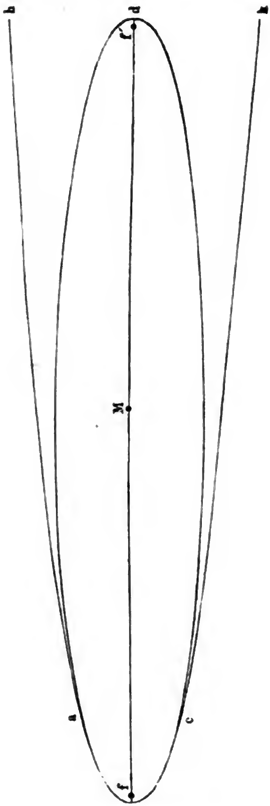
Auch für die Kometen gilt das zweite Keplersche Gesetz: Der von der Sonne zum Kometen gezogene Leitstrahl legt in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurück. Die Geschwindigkeit der Kometen ist also im Perihelium am gröfsten, im Aphelium am kleinsten. Aus Enckes Rechnungen ergab sich, dafs der Komet von 1680 und 1681 im Perihelium 53 geogr. Meilen, im Aphelium aber nur 3,2 Meter in der Sekunde zurücklegt.

Meistens werden die Bahnen neu entdeckter Kometen als parabolische dargestellt. Damit ist jedoch nicht ausgeschlossen, dafs sich die Kometen in einer langgestreckten elliptischen Bahn bewegen. Eine Parabel nämlich und eine stark excentrische Ellipse, welche einen gemeinschaftlichen Brennpunkt f (Fig. 16) und einen gemeinschaftlichen Gipfel b haben, fallen in der Nähe desselben sehr nahe zusammen. Das Bogenstück abc kann demnach sowohl ein Stück der Parabel $habck$, als auch der Ellipse $abcd$ sein. Da nun die Kometen nur auf eine kurze Strecke in der Sonnennähe, also nahe dem Brennpunkte ihrer Bahn, für uns sichtbar sind, so darf man ihre Bahnen ebenso wohl als parabolische wie als elliptische betrachten. Gewöhnlich nimmt man für sie eine parabolische Gestalt an, weil die Berechnung einer solchen Bahn ungleich einfacher ist als die einer elliptischen. Berechnet man aber nach den beobachteten Kometenorten eine elliptische Bahn, so ist natürlich für grofse Achse und Umlaufszeit keine genauere Bestimmung möglich.

[1] Vgl. Nature. Vol. VI, Nr. 166 (2. January 1873), p. 163.

Der bedeutendste der wiederkehrenden Kometen ist der Halleysche, welcher in den Jahren 1456, 1531, 1607, 1682, 1759 und 1835 gesehen worden ist, folglich eine Umlaufszeit von c. 76 Jahren hat und somit im Jahre 1911 wieder erscheinen wird. Alle anderen Kometen, deren Umlaufsperiode bekannt ist, sind nur teleskopisch sichtbar. Zu ihnen gehören der Enckesche Komet (Umlaufszeit 3,287 Jahre, 1786 von Pons entdeckt), dessen Umlaufsperiode bei jeder Rückkehr um $2^2/_3$ Stunden verkürzt erscheint, der Bielasche Komet (Umlaufszeit 6,6 Jahre, 1772 entdeckt, seit 1852 nicht mehr gesehen, s. S. 134 f.), der Fayesche Komet (Umlaufszeit 7,4 Jahre, 1843 entdeckt), Brorsens Komet (Umlaufszeit 5,5 Jahre, 1846 entdeckt) u. a.

Fig. 16.



Kometenbahnen.

Die Kometen dringen häufig tief in unser Sonnensystem ein; ja sie gehen bisweilen sogar zwischen Merkur und Sonne hindurch. So war der Komet von 1680 am 17. Dezember des genannten Jahres nur um den sechsten Teil des Sonnendurchmessers, nämlich 32 000 geogr. Meilen von der Sonnenoberfläche entfernt; er war ihr also mehr als 600mal so nahe als die Erde. Durchschneidet nun ein Komet auf seinem Wege die Erdbahn, so ist es möglich, dafs er auf unseren Planeten trifft. Obwohl die Kometen aus einer in so hohem Grade verdünnten Materie bestehen, dafs sie der berühmte Physiker Babinet scherzweise, aber bezeichnend „sichtbare Nichtse“ („riens visibles“) nennen konnte, so dürfen wir doch nicht glauben, dafs ein Zusammenprall derselben mit der Erde keine weiteren Folgen haben würde

Wäre z. B. der Kern des Donatischen Kometen, dessen Gewicht Faye mit demjenigen einer 9000 Quadratmeilen grofsen und 100 Meter tiefen See vergleicht, mit der Erde zusammengestofsen, d. h. mit einer 25600 Billionen Kilogramm wiegenden Masse bei einer Geschwindigkeit von 10 geogr. Meilen per Sekunde (4 kommen davon auf die Erde, 6 auf den rückläufig sich bewegenden Kometen), so würden sich nach Fayes Berechnung[1]) augenblicklich auf derjenigen Hemisphäre, welche den Stofs erlitten hätte, 51 Millionen Calorien Wärme per Quadratmeter entwickelt haben, Wärmemengen, welche hinreichen würden, einen Teil der festen Erdkruste aufzulösen und in Dampfform zu verwandeln. Kein organisches Wesen auf der betreffenden Hemisphäre könnte eine derartige Katastrophe überdauern. Glücklicherweise ist die Wahrscheinlichkeit eines solchen Zusammenstofses äufserst gering; auch tragen selbst die entferntesten geologischen Zeitalter keine Spuren eines ähnlichen Ereignisses. Wir dürfen demnach die Kometen immerhin als harmlose Himmelskörper betrachten, die nicht im stande sind, den Frieden der Welt zu stören.

Von den Bahnen der Kometen wenden wir uns nun zur Betrachtung ihrer physischen Beschaffenheit.

Seit dem Jahre 1864, wo Donati in Florenz zum ersten Male das Spectroskop auf einen Kometen richtete, sind etwa 20 Kometen spectroskopisch untersucht worden[2]) (die meisten von H. Vogel in Potsdam und v. Konkoly in Ó-Gyalla, Ungarn). Die Spectra aller dieser Kometen zeigten wenige (meist drei) helle, nach dem Rot scharf begrenzte, nach dem Violett verwaschene Banden, zu denen gewöhnlich ein sehr schwaches kontinuierliches Farbenbild hinzutrat. Daraus geht

[1]) Nature. Vol. X, Nr. 247 (23. July 1874), p. 229.

[2]) Die Litteratur über die älteren spectroskopischen Untersuchungen der Kometen (bis 1871) findet sich vollständig aufgezeichnet in H. Vogels Arbeit: „Über die Spectra der Kometen“ in Poggendorffs Annalen. Bd. CXLIX (1873), S. 400—408 (s. auch Astronomische Nachrichten. Bd. LXXX (1872), Nr. 1908). Neuerdings wurden spectroskopisch untersucht (einige periodische zum Teil von neuem untersucht) die Kometen Henry (1873 IV, Astronomische Nachrichten. Bd. LXXXII (1873), Nr. 1958, Sp. 217 ff. Nr. 1963, Sp. 297 f.), Winnecke (1874 II, A. N. Bd. LXXXV (1875), Nr. 2018, Sp. 17. 25 f.), Coggia (1874 III, A. N. Bd. LXXXV (1875), Nr. 2018, Sp. 18 ff.), Encke (1875 I, A. N. Bd. LXXXV (1875), Nr. 2036, Sp. 317 ff.), Borrelly (1877 I, A. N. Bd. LXXXIX (1877), Nr. 2123, Sp. 169 ff. Bd. XC (1877), Nr. 2147, Sp. 171 f.), Brorsen (1879 I, A. N. Bd. XCV (1879), Nr. 2269, Sp. 193 ff.), Palisa (1879 IV, A. N. Bd. XCVI (1880), Nr. 2283, Sp. 39 ff.), 1881 II und III (A. N. Bd. C (1881), Nr. 2395, Sp. 301 ff.), Wells (1882, A. N. Bd. CII (1882), Nr. 2434, Sp. 159 f. Nr. 2435, Sp. 169 f. Nr. 2437, Sp. 199 ff.), der grofse Septemberkomet 1882 (A. N. Bd. CIII (1882), Nr. 2466, Sp. 279 ff. Bd. CIV (1883), Nr. 2473, Sp. 13 ff.), Brooks-Swift (1883, A. N. Bd. CV (1883), Nr. 2501, Sp. 75 f.).

hervor, daſs sie eigenes, von einem glühenden Gase herrührendes Licht aussenden, während ein anderer Teil reflektiertes Sonnenlicht ist. Jene drei Lichtbanden stimmen hinsichtlich ihrer Lage fast durchweg mit denen des Kohlenwasserstoffs überein; es ist daher die Annahme wohlbegründet, daſs die Kometen im wesentlichen aus glühenden Gasen einiger Kohlenstoffverbindungen bestehen. Die häufige Abwesenheit zweier weiterer Streifen, welche im Kohlenwasserstoffspectrum stets auftreten, mag vielleicht darin begründet sein, daſs die Kometenstoffe bei sehr niedrigen Temperaturen leuchten und infolge dessen die Linien und Banden in den brechbareren Teilen zu lichtschwach werden. Höchst merkwürdig ist es, daſs der Komet Wells (1882), sowie der groſse Septemberkomet des Jahres 1882 bei ihrer gröſsten Sonnennähe mit groſser Deutlichkeit das Natriumspectrum erkennen lieſsen. So lange sie aber von der äuſseren Wärmequelle genügend entfernt waren, hatten sich offenbar die Metalldämpfe verdichtet; denn in solchem Falle trat an Stelle des Metallspectrums das der Kohlenwasserstoffe (vgl. S. 143 f.).

Auf sehr unsicherer Grundlage beruht die Annahme, daſs Wasserdampf in den Kometen sein müsse. Man hat hierfür angeführt, daſs das Gesamtbild des Kometen nicht weiſs, sondern gelbrötlich erscheine und somit eine Farbe besitze, welche das Sonnenlicht beim Durchgang durch eine groſse Schicht atmosphärischen Wasserdampfes annimmt. Doch könnte diese Farbe ebenso gut durch andere Dämpfe erzeugt werden; auch müssen wir das eigene (nicht reflektierte) Licht der Kometen nach den bisherigen spectroskopischen Untersuchungen als ein grünlich gefärbtes ansehen, da alle Kometenspectra zwei oder drei helle Streifen zeigten, von denen der eine im Gelb, der zweite, lichtstärkste im Grün und der schwächste im Anfang des Blau lag. Von dem kontinuierlichen Spectrum, das neben jenen Streifen meist sehr matt erscheint, ist nur der hellste Teil — Gelb, Grün und der Anfang des Blau — sichtbar; das Gesamtbild des Kometenspectrums wird somit immer noch einen grünlichen Grundton erkennen lassen. In der That stimmen einzelne Beobachtungen damit überein. So hat Sir W. Herschel den Kopf des Kometen von 1811, W. Struve den Halleyschen Kometen im Jahre 1835 und Winnecke den Schweif des Kometen von 1862 in bläulich-grüner Färbung gesehen. Eine Ausnahme von der Regel bildeten der Komet Wells (1882) und der groſse Septemberkomet des Jahres 1882, deren Kern samt nächster Umhüllung, so lange diese Kometen in Sonnennähe weilten, von glühenden Natriumdämpfen stark gelb gefärbt erschien (s. oben).

So erfolgreich auch die spectroskopische Untersuchung der zahlreichen kleineren Kometen in dem letzten Jahrzehnt war, so verspricht man sich doch vielfach von dem Erscheinen lichtstarker Kometen tiefere

Einblicke in die Natur dieser Himmelskörper. Eigentlich sollte man mit dieser Hoffnung nicht mehr rechnen; denn die Beobachtungen des schönen Kometen Coggia (1874 III) liefsen erkennen, dafs das von demselben reflektierte Sonnenlicht bei dessen Annäherung an die Sonne weit mehr an Helligkeit zunahm als das Spectrum des Kometen. Demnach erlitt das letztere, obwohl der Komet selbst eine aufserordentliche Glanzentwicklung zeigte, eine bedeutende Schwächung[1]).

Aufserordentlich schwierig ist es, die Vorgänge, welche sich auf den Kometen vollziehen, auf bekannte physikalische Gesetze zurückzuführen. Es sei uns in dem folgenden verstattet, auf die beiden wichtigsten der bisher aufgestellten Kometentheorien, auf die Tyndallsche und die Zöllnersche, etwas näher einzugehen.

Tyndalls Theorie ist im wesentlichen folgende[2]): Jeder Lichtstrahl der Sonne äufsert drei verschiedene Wirkungen: Licht-, Wärme- und chemische oder aktinische Wirkungen. Nun entdeckte Tyndall, dafs, wenn er eine Glasröhre mit völlig durchsichtigen Dämpfen von gewissen Stoffen (wie Amylnitrit oder Allyljodid) anfüllte und auf sie elektrisches Licht warf, die Dämpfe sich sogleich verdichteten und eine Wolke bildeten. Diese Verdichtung wurde nur durch die chemische oder aktinische Thätigkeit des Lichtes hervorgebracht. Selbst wenn die Dämpfe in aufserordentlicher Verdünnung angewandt wurden, trat gleichwohl die Wolkenbildung sichtbar ein; allein diese Wolken blieben völlig durchsichtig und wurden von dem Licht einer Kerze so durchdrungen, wie wenn dasselbe durch eine luftleere Röhre gegangen wäre.

Kopf und Schweif des Kometen sind nun nach Tyndall nichts anderes als aktinische Wolken, die sich bei der Zersetzung durch die Sonnenstrahlen bilden. Hierbei ist nur die chemische Wirkung der Sonnenstrahlen thätig, während Licht- und Wärmestrahlen den zersetzten Lichtnebel in durchsichtigen Dampf zurückzuführen trachten. So sind denn fortwährend zwei gegnerische Thätigkeiten im Spiel; nur da, wo örtlich in der Masse die chemischen Strahlen das Übergewicht über die Licht- und Wärmestrahlen behaupten, kann die Bildung eines aktinischen Gewölkes eintreten. Dies geschieht zunächst am Kopf und im Kern des Kometen. Dort sind die Licht- und Wärmestrahlen bereits aufgezehrt, während die stärkeren aktinischen die Nebelbildung hervorrufen. Das Einschrumpfen des Kopfes in der Nähe der Sonne rührt von dem Anprall der calorischen Wellen her,

[1]) Astronomische Nachrichten. Bd. LXXXV (1875), Nr. 2018, Sp. 22.

[2]) John Tyndall, Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung. Herausgeg. von H. Helmholtz und G. Wiedemann. 3. Aufl. Braunschweig 1875. S. 705–713.

welche seine äufsersten dünnsten Schichten auflösen und so seine scheinbare Zusammenziehung verursachen. Kopf und Kern schützen ferner als Schirm die hinter ihnen liegenden Dämpfe vor den Licht- und Wärmewirkungen; so wird das Übergewicht der aktinischen Strahlen hinter dem Kopf und Kern gesteigert; daher erscheint der Schweif des Kometen stets von der Sonne abgekehrt.

Der Schweif ist dieser Theorie zufolge nicht ausgestofsener Stoff, sondern Stoff, der sich in denjenigen Sonnenstrahlen niederschlägt, welche die Kometenatmosphäre durchschneiden. Tyndall hat experimentell bewiesen, dafs dieser Niederschlag entweder mit verhältnismäfsiger Langsamkeit längs des Strahles eintreten oder so gut wie in einem Moment in der ganzen Länge des Strahles stattfinden kann, woraus sich die erstaunliche Schnelligkeit der Schweifbildung erklärt. Ferner besteht der Schweif, während der Komet in seiner Sonnennähe eine bedeutende Schwenkung vollzieht, nicht stets aus einem und demselben Stoff, sondern aus neuem Stoff, der sich in den Sonnenstrahlen niederschlägt, welche die Kometenatmosphäre in neuen Richtungen durchdringen. So erklären sich auch die ungeheuren Schwankungen des Schweifes, ohne dafs man eine entsprechende Fortbewegung der Materie anzunehmen braucht.

Interessant ist an dieser Hypothese besonders der Umstand, dafs es Stoffe giebt von so seltsamem Gewebe, dafs sie sichtbare Wolken bilden und doch das Licht ungehindert hindurch lassen.

Da die aktinischen Wirkungen auch bei millionenfachen Verdünnungen noch eintreten, so rechtfertigt sich die Vermutung, dafs zur Hervorrufung des Donatischen Gestirns wenige Neulot von Allyljodid ausgereicht hätten. Nach dieser Theorie sinken die Kometen in unseren Augen zu photographischen Gespenstern herab.

Zöllner erhebt gegen die Tyndallsche Theorie folgende Einwände[1]):

Die Flüssigkeiten, an deren Dämpfen Tyndall in seinem Laboratorium die aktinische Zersetzung durch Lichtstrahlen beobachtet hat, sind im allgemeinen Verbindungen von Chlor, Brom, Jod, teils unorganischer, teils organischer Natur („Nitrite of Amyl, Hydrobromic-Acid, Hydriodic-Acid, Allyljodid“). Da nun derartige Dämpfe nicht einmal in unserer Atmosphäre vorkommen, so dürfen wir ihre Existenz im Weltraum mit vollem Rechte bezweifeln.

Wenn ferner Kopf und Schweif Wirkungen derselben Ursache sind, für die Bildung des letzteren aber der Schatten des Kopfes notwendig ist, welcher die calorischen Strahlen stärker als die aktinischen

[1]) Fr. Zöllner, Über die Natur der Kometen. Leipzig 1872. S. 183 ff.

absorbiert, so ist man zu der sonderbaren Annahme gezwungen, dafs auch vor dem Kopfe des Kometen ein sonst nicht wahrnehmbarer Stoff oder Körper besteht, welcher die calorischen Strahlen des Sonnenlichtes stärker als die aktinischen absorbiert und hierdurch den letzteren in seinem Schatten ein Übergewicht verschafft.

Endlich ist es nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft unmöglich, dafs — wie Tyndall behauptet — die aktinischen Strahlen durch die Wirkungen, welche sie bei der Zersetzung der Dämpfe im Kopfe des Kometen erzeugen, nicht geschwächt, sondern verstärkt werden; im Gegenteil mufs da, wo Wirkungen entstehen, eine diesen Wirkungen proportionale Quantität von Ursachen verschwinden.

Zöllner hat in seinem mit ebenso grofsem Scharfsinn als mit kritischem Urteile geschriebenen Werke „Über die Natur der Kometen" (Leipzig 1872) eine neue Theorie über Kometenbildung aufgestellt. Das wesentliche Verdienst derselben besteht darin, dafs die Erklärung der kometarischen Erscheinungen keine neuen verborgenen Kräfte in Anspruch nimmt, sondern nur die bekannten und auch deren Wirkungen nur, insoweit sie unter irdischen Verhältnissen beobachtet worden sind. Er folgt der von Olbers und Bessel bereits gegebenen Andeutung, dafs die Kometenentwicklung ein elektrisches Phänomen sei.

Zöllner erklärt die Kometenbildung in folgender Weise:

Frei im Weltraum schwebende Gase verdichten sich unter gewissen Bedingungen der Temperatur und des Druckes zu kosmischen Massen, deren Aggregatzustand verschiedenartig, doch nie stabil sein kann. Eine feste Begrenzung nach aufsen besitzen sie schon nicht wegen der in dieser Richtung fortwährend stattfindenden Verdunstung jedes kosmischen Stoffes, welche sich so lange aus dessen Innerem entwickelt, als dies der Druck der auf solche Weise selbstgebildeten Atmosphäre zuläfst. Befindet sich eine derartige Masse an einer Stelle des Weltraumes, wo die Strahlung keines Fixsternes wesentlich überwiegt, so mufs sie die Temperatur des Weltraumes annehmen (nach Pouillets Berechnung — 142° C.). Gelangt sie jedoch durch Attraktion eines Fixsternes (z. B. der Sonne) in die Nähe einer strahlenden Wärmequelle, so mufs vor allem auf der der Strahlung ausgesetzten Seite ein Verdampfungs- und Siedeprozefs stattfinden, der ihren Aggregatzustand energisch verändert und um so gewaltsamer ihre ganze Masse ergreift, je kleiner diese im Verhältnis zur Gröfse und Intensität der Wärmequelle ist. Im Anziehungsbereich der Sonne werden sich uns darum flüssige Meteormassen — und ihr Vorkommen unter den zahllosen festen Massen im Weltraume kann wohl kaum bestritten werden — als Körper zeigen, die von einer Dunsthülle umgeben sind; je geringer ihre Gröfse ist, desto häufiger erscheinen sie

als gleichförmig durchstrahlte Dampfkugeln. Wir erkennen in diesen das Bild der kleinen Kometen, und es erklärt sich uns nun, dafs sie als flüssige Meteore dieselben Bahnen ziehen wie die Meteor- und Sternschnuppenschwärme.

Die Kometen bieten jedoch aufser den angeführten Erscheinungen noch andere dar, welche durch die bisher vorausgesetzten allgemeinen Eigenschaften flüssiger Körper nicht erklärt werden können. Diese Erscheinungen sind: 1. die durch die Spectralanalyse bewiesene eigene Lichtentwicklung und 2. die Bildung der Schweife und ihre eigentümliche Beziehung zur Sonne. Nun kennen wir aber nur zwei Ursachen, durch welche dampf- oder gasförmige Körper selbstleuchtend werden: entweder durch Temperaturerhöhung (wie beim Verbrennungsprozefs) oder durch elektrische Erregung (wie beim Ausströmen der Elektricität aus Spitzen oder bei ihrem Durchgange durch luftverdünnte Räume). Zöllner entscheidet sich für die zweite Ursache und zwar vor allem deshalb, weil die erstere in keinem Falle die Schweifbildung hervorrufen könnte, also offenbar zur Erklärung dieser Erscheinung noch eine zweite Ursache angenommen werden müfste. Hingegen läfst sich aus der Annahme einer elektrischen Erregung der kometarischen Dunsthülle nicht blofs das Selbstleuchten der Kometen, sondern zugleich auch die Schweifentwicklung in einfacher, ungezwungener Weise ableiten.

Durch zahlreiche Versuche von Pouillet, Faraday, Riefs u. a. ist es erwiesen, dafs das mechanische Zerreifsen von Flüssigkeitsteilchen beim Zerstäuben von Wasserstrahlen eine sehr ergiebige Elektricitätsquelle ist. Da nun die Dunsthülle der Kometen durch einen permanenten Verdampfungs- und Siedeprozefs in Form von Blasenentwicklung aus dem Innern der Flüssigkeit erzeugt wird, so dürfen wir in der hierbei stattfindenden mechanischen Trennung und Zerstäubung in feinere Tröpfchen eine reiche Elektricitätsquelle erkennen. „Das Spectrum der auf diese Weise elektrisch leuchtenden Dunsthülle eines Kometen mufs notwendig dasjenige sein, welches beim Übergange der Elektricität durch die vom flüssigen Kerne entwickelten Dämpfe erzeugt wird. Besteht dieser Kern aus einem Gemenge verschiedener Flüssigkeiten, so wird bei schwacher Elektricitätserregung zunächst nur das Spectrum desjenigen Stoffes erscheinen, dessen Emissionsvermögen bei niedrigen Temperaturen das gröfsere ist.“

Sowohl die Richtung des Schweifes als auch die Abhängigkeit seiner Länge von der Annäherung des Kometen an die Sonne weisen auf einen engen Zusammenhang zwischen der Schweifbildung und den Sonnenkräften hin. Weder die Gravitation, noch die Licht- und Wärmewirkung der Sonne vermögen uns jedoch die Eigentümlichkeiten

des Kometenschweifes zu erklären. Die Wärmekräfte der Sonne werden zwar, wenn sich der Komet im Perihel befindet, eine beträchtlich verstärkte Dampfentwicklung der kosmischen Flüssigkeitsmasse hervorrufen, also reiches schweifbildendes Material erzeugen; warum der Schweif jedoch von der Sonne abgewandt ist, dafür läfst sich auch hierin kein Grund finden. Wir sind demnach zur Annahme einer elektrischen Fernewirkung der Sonne gezwungen, um alle wesentlichen und charakteristischen Erscheinungen der Schweife und Dunsthüllen der Kometen ableiten zu können.

Dafs die Sonne wirklich ein mächtiger Elektricitätsquell ist, kann wohl kaum bezweifelt werden. Sind schon die thermischen und mechanischen Vorgänge auf und in der Erde, d. h. die meteorologischen und vulkanischen Prozesse die Quelle einer intensiven Elektricitätserregung, so dürfte dies noch viel mehr von den Bewegungen auf der Sonnenoberfläche gelten, wo beständig gewaltige Dampf- und Gasströme in Form eruptiver Protuberanzen mit ungeheurer Gewalt hervorbrechen (vgl. S. 80 f.).

Da nun nach dem obigen die aus den flüssigen Kernen der Kometen sich bildenden Dämpfe ebenfalls als elektrisch vorausgesetzt werden mufsten, so bedarf es nur noch der Annahme, dafs Sonnen- und Kometenelektricität gleichartig sind, um die Entwicklung der Schweife nach einer von der Sonne abgewandten Richtung zu erklären. Nimmt man also an, dafs die Dunsthülle der Kometen — gleich dem zerstäubenden Wasser — negativ elektrisch erregt werde, so müfste man auch auf der Sonnenoberfläche freie negative Elektricität voraussetzen. Änderte sich durch irgend welche Umstände das Vorzeichen der Elektricität, — und Faraday hat erwiesen, dafs dies durch eine geringe Beifügung fremder Substanzen bewirkt werden kann, — so müfste ein der Sonne zugekehrter Schweif entstehen. Ein Beispiel dafür bietet uns der Komet von 1823, der, wie schon erwähnt, zwei Schweife hatte, von denen der eine von der Sonne abgewandt war, während der andere einen Winkel von 160° mit diesem bildete.

Für den elektrischen Ursprung des Kometenlichtes spricht noch folgende Thatsache sehr lebhaft. In dem Spectrum des Wellsschen Kometen (1882) und des grofsen Septemberkometen von 1882 zeigte sich zur Zeit der gröfsten Sonnennähe ein glänzendes Natriumspectrum, welches jedoch bei gröfserer Entfernung von der Sonne von dem Kohlenwasserstoffspectrum völlig verdrängt wurde. Wir erkennen hierin einen Vorgang wieder, welchen man in Geifslerschen Röhren beobachten kann: bei gesteigerter elektrischer Kraftwirkung treten nämlich die Spectra aller sonst vorhandenen Gase in dem Momente stark

zurück, wo die Spectra von Metalldämpfen erscheinen, weil diese dann die Überführung des elektrischen Stromes allein übernehmen. Sobald sich aber bei Beseitigung der äufseren Wärmequelle die Metalldämpfe wieder verdichten, verschwindet das Metallspectrum, und das jener Gase kehrt wieder zurück [1]).

Nach der Theorie Zöllners können die ungeheuren Geschwindigkeiten, mit welchen die Kometenschweife aus den Kernen gleichsam hervorschiefsen und sich oft in wenigen Tagen über Strecken von mehreren Millionen Meilen ausbreiten, nicht anders erklärt werden als durch eine wirkliche mechanische Bewegung der elektrisierten Dampfteilchen, welche sich unter dem Einflusse der elektrischen Abstofsung durch die Sonne mit beschleunigter Geschwindigkeit von letzterer entfernen. Zöllner macht einen derartigen Vorgang wahrscheinlich durch den Hinweis auf die Thatsache, dafs staubartige Substanzen unter dem anziehenden und abstofsenden Einflusse freier Elektricitätsmengen viel schnellere Bewegungen ausführen als gröfsere, z. B. Holundermarkkügelchen. Infolge ihrer Kleinheit erhalten die einzelnen Gasmoleküle bei ihrem Übergange in luftverdünnte Räume wahrscheinlich so grofse Geschwindigkeiten, dafs ihre mittlere lebendige Kraft der Temperatur des Glühens entspricht.

„Steht ein Körper gleichzeitig unter dem Einflusse der Gravitation und freien Elektricität eines anderen, so prävaliert bei zunehmender Masse die Gravitation, bei abnehmender Masse die Elektricität als bewegende Kraft. Daher stehen die Kerne der Kometen, als tropfbarflüssige Massen, unter dem Einflusse der Gravitation, die entwickelten Dämpfe, als Aggregate sehr kleiner Massenteilchen, unter dem Einflusse der freien Elektricität der Sonne.“

Hankel [2]) hat an einem ziemlich heiteren Septembernachmittage auf freiem Felde bei Leipzig die Luftelektricität gemessen und sie so grofs gefunden, dafs einer kleinen Kugel von der Masse eines Milligrammes unter dem Einflusse dieser Kraft in einer Sekunde eine über 7mal so grofse Beschleunigung als durch die Schwere erteilt werden konnte. Hieraus geht hervor, dafs es zur Erklärung der wesentlichsten Erscheinungen der Kometen vollkommen genügen würde, der Sonnenoberfläche selbst quantitativ nur diejenigen elektrischen Eigenschaften beizulegen, welche man durch direkte Beobachtungen an der Erdoberfläche nachzuweisen im stande ist.

[1]) Astronomische Nachrichten. Bd. CIII (1882), Nr. 2466, Sp. 282. Bd. CIV (1883), Nr. 2473, Sp. 14 f.

[2]) Abhandlungen der math.-phys. Klasse der Kgl. Sächs. Gesellschaft d. W. Bd. III (1857), S. 381 ff.

Aus der Zöllnerschen Theorie ergiebt sich mit Notwendigkeit, daſs bei jeder Temperatursteigerung des Weltraumes eine bestimmte Anzahl kleiner Kometen für unsere Wahrnehmung verschwinden muſs, indem die nebelartigen Verdichtungsprodukte, welche uns diese Körper bei niedriger Temperatur sichtbar machen, alsdann durch die Wärme aufgelöst werden. Somit würden unter sonst gleichen Verhältnissen bei eintretender Wärmeverminderung mehr kleine Kometen auftauchen als bei Temperaturerhöhung. Zöllner hatte deshalb vermutet, daſs die Anzahl der jährlich entdeckten kleinen Kometen periodischen Schwankungen unterworfen sei, deren Maxima und Minima mit denen der Sonnenflecken, also den Zeiten geringerer oder gröſserer Wärmeentwicklung, zusammenfallen oder, nach Analogie meteorologischer Wirkungen, denselben um weniges nachfolgen. Diese Vermutung hat sich in überraschender Weise bestätigt; denn Bruhns hat gefunden [1], daſs in den Jahren 1865 und 1866 merkwürdig wenig Kometen erschienen; 1856 war gar kein Komet sichtbar; ebenso zeigten sich zur Zeit der früheren Sonnenfleckenminima, nämlich 1800, 1810 bis 1811, 1822 bis 1823, 1834 bis 1835, 1843 bis 1844 ziemlich groſse Intervalle. Selbstverständlich wurden die periodischen Kometen hierbei nicht berücksichtigt. So bietet also die statistische Behandlung der neu entdeckten kleinen Kometen kommenden Geschlechtern ein Mittel, die allmählich fortschreitende Abkühlung des Sonnenkörpers empirisch nachzuweisen.

[1] Astronomische Nachrichten. Bd. LXVIII, Nr. 1631.

ZWEITER TEIL.

DER ERDKÖRPER.

I. Gestalt und Gröfse der Erde.

Die Gröfse der Erde zu bestimmen war so lange unmöglich, als man nicht eine annähernd richtige Vorstellung von ihrer Gestalt hatte. Die Gestalt eines Körpers ist ja mafsgebend für das mathematische Verfahren, welches wir anwenden, um seine Gröfse zu ermitteln. Wir betrachten darum zuerst die Gestalt der Erde und dann ihre Gröfse, wobei wir uns immer bewufst bleiben, dafs erst durch genaue Messungen die Anomalien in der Gestalt des Erdkörpers festgestellt werden konnten.

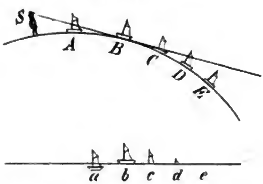
Nur überlegene Geister konnten sich vordem lossagen von dem mächtigen Zeugnis der Sinne, das der wahren Erkenntnis entgegen stand, und sich zu der Anschauung hindurchringen, dafs die Erde nicht auf festem Grunde ruhe, dafs die Meeresfläche kugelförmig gekrümmt sei, dafs der Erdkörper diese Krümmung teile, dafs er somit nicht die Gestalt einer Scheibe, sondern die einer Kugel habe und dafs die Richtung der fallenden Körper gegen den Mittelpunkt dieser Kugel die Begriffe Unten und Oben bedinge.

Pythagoras (im 6. Jahrhundert v. Chr.) scheint der erste gewesen zu sein, welcher der Erde eine Kugelgestalt zuschrieb. Er lehrte, dafs die Erde als ein vollkommener Körper auch diejenige Gestalt besitzen müsse, welche als die vollendetste galt: die der Kugel. Also nicht aus mathematischer Überzeugung, sondern aus geometrischen Schicklichkeitsgründen hielt er die Erde für eine Kugel. Der älteste Gelehrte, welcher aus mathematischen Gründen die Kugelgestalt annahm, ist Parmenides aus Elea (um 460 v. Chr.). Aristoteles (384—322 v. Chr.) bewies die Kugelgestalt der Erde aus der bogenförmigen Grenze des Erdschattens bei Verfinsterungen des Mondes, sowie aus dem Verschwinden, resp. Auftauchen von Gestirnen, wenn man in der Richtung von Süd nach Nord oder von Nord nach Süd seine Stellung um eine beträchtliche Gröfse verändert. Archimedes

(287—212 v. Chr.) fügte einen auf die Gesetze der Hydrostatik gegründeten Beweis hinzu, daſs auch die Meeresspiegel Teile einer Kugelfläche sein müſsten. Ptolemäus (87—165 n. Chr.) erhärtete diese Lehre durch die bekannte sinnliche Wahrnehmung, daſs auf hoher See zuerst die Spitzen von Küstengegenständen sichtbar werden und daſs Schiffe, die sich vom Lande entfernen, für den an der Küste stehenden Beobachter sich nicht nur verkleinern, sondern auch — zunächst in ihren unteren Partien, schlieſslich auch mit ihren Masten — verschwinden und gleichsam unter die Meeresfläche hinabtauchen [1]).

Nehmen wir z. B. an, wir stünden bei *S* (Fig. 17) und ein Schiff segelte von unserem Standpunkte hinweg, so werden wir, so lange sich das Schiff noch in geringer Entfernung von uns befindet, dasselbe ganz erblicken und zwar unterhalb der Linie, welche den sichtbaren Horizont bezeichnet *(a)*. Ist es auf der Höhe des sichtbaren Horizontes angelangt, also in gleicher Höhe mit diesem, so bemerken wir (schon in abnehmender Gröſse) noch einmal den ganzen Schiffskörper *(b)*. Sobald es jedoch diesen Punkt passiert hat, verkleinert sich nicht nur der sichtbare Teil, sondern das Schiff verschwindet auch allmählich, als sänke es unter die Oberfläche. Zuerst vermissen wir seinen Rumpf *(c)*; dann aber steigen auch Masten und Segel *(d* und *e)* unter den Horizont hinab. Die sphärische Oberfläche der Erde ist es, welche zwischen das Schiff und uns tritt.

Fig. 17.



Das Verschwinden eines Schiffes hinter der Kugelwölbung der Erde.

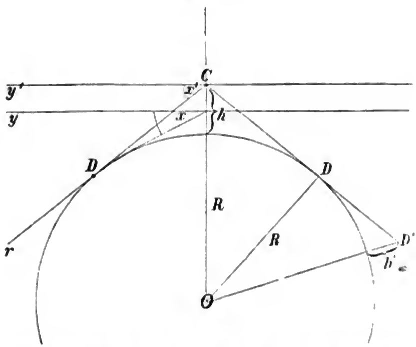
Die besprochene kugelförmige Wölbung des Oceans hat für gewisse Völker eine praktische Bedeutung: malayische Stämme benützen sie nämlich als eine Art Versteck. Die Dampfer, welche zur Unterdrückung des Piratentums in den malayischen Gewässern kreuzen, senden natürlich ihren Rauch hoch in die Luft. Somit sind sie die unzweckmäſsigsten Fahrzeuge zur Verfolgung der Seeräuberprauen; denn man erkennt ihren Rauch am Horizont längst, bevor der Dampfer sichtbar wird, und die Piraten brauchen daher nur in einem rechten Winkel zur Richtung der Dampferlinie abzubiegen, um hinter der Kugelwölbung des Oceans ihre niederen Fahrzeuge zu verbergen. So kam es, daſs die niederländischen Dampfboote fast nie auf See-

[1]) O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgeg. von S. Ruge). München 1877. S. 34 f.

räuber trafen, obgleich diese dicht vor und hinter jenen ihr Wesen trieben [1]).

Wäre die Erde eine unbegrenzte flache Scheibe, so würden unsere Blicke bis ins Unendliche über die Erdoberfläche schweifen, falls unserer Sehkraft keine Schranken gesetzt wären. Da jedoch die gekrümmte Erdoberfläche wie ein Wall von Bergen die hinteren Abhänge der Wölbung unseren Blicken verschliefst, so ergiebt sich hieraus notwendig eine Beschränkung unseres Gesichtskreises. Aus Fig. 18 erkennen wir: Je mehr sich das Auge des Beobachters über die Erdoberfläche erhebt, um so länger werden die von demselben nach der Erdoberfläche gezogenen Tangenten oder — was dasselbe ist — um so mehr erweitert sich der Horizont, d. h. jene Linie, in welcher das Himmelsgewölbe die sichtbaren Teile der Erdoberfläche berührt. Je höher wir uns erheben, um so tiefer sinkt der Horizont herab.

Fig. 18.



Die stete Erweiterung des Horizonts in der Höhe ein Beweis für die Kugelgestalt der Erde.

Die Gröfse dieser sogenannten Depression des Horizontes bezeichnet der Winkel x', welcher durch die auf dem verlängerten Erdradius R im Punkte C normal errichtete (also horizontale) Gerade Cy' und die nach dem Rande des Gesichtskreises gezogene Gerade Cr gebildet wird. Dieser Winkel wächst mit der Erhebung. Er ist z. B. für eine Höhe von 100 Metern = 19′ 26″, für 1000 Meter = 1° 1,4′, für 10000 Meter = 3° 14,4′.

Die Aussichtsweite von irgend einem aus einer ebenen Fläche sich erhebenden Standpunkte läfst sich leicht berechnen, sobald man die Gröfse des Erdhalbmessers kennt. Bezeichnen wir denselben mit R und mit h die Höhe des Beobachters, so ist der Halbmesser des Gesichtskreises, CD, da OCD ein rechtwinkliges Dreieck ist, =

[1]) F. Jagor, Reisen in den Philippinen. Berlin 1873. S. 180.

$$\sqrt{(R+h)^2 - R^2} = \sqrt{h(2R+h)}.$$

Der Erddurchmesser 2 R mifst aber in unseren Breiten 1716 geogr. Meilen (1 g. M. = 7420 m). Aus der Formel ergiebt sich für den Gipfel des Grofsglockner, dessen Höhe 3796 Meter = 0,5116 geogr. Meilen beträgt, eine Aussichtsweite von $\sqrt{0,5116 \times 1716,5} = 29,6$ geogr. Meilen. Indes ist die mathematisch berechnete Aussichtsweite deshalb nicht ganz zutreffend, weil die Lichtstrahlen infolge der verschiedenen Dichtigkeit der Luftschichten nicht in gerader Richtung dieselben durchdringen, sondern gebrochen werden, und zwar bildet der von einem Lichtstrahl zurückgelegte Pfad eine gegen die Erdoberfläche hin concav ausgebogene Linie, wodurch die Sehweite bei normalem Zustande der Luft etwa um $^1/_{13}$ vergröfsert wird [1]. Auf der anderen Seite wurde jedoch auch nicht berücksichtigt, dafs der Blick durch die innerhalb des berechneten Horizonts liegenden Höhen streckenweise eine gröfsere oder geringere Einschränkung erfährt.

Für Abschätzung von Entfernungen genügt folgende einfache Regel der Gebrüder v. Schlagintweit: Weifs man, wie viel englische Fufs man sich über die Wasserfläche des Meeres erhoben hat, so braucht man nur die Quadratwurzel aus der Fufszahl zu ziehen, und man erhält auf diese Weise die Entfernungen von Gegenständen, die am Horizonte auftauchen, in englischen Seemeilen (4 engl. Seemeilen = 1 geogr. Meile). Befindet sich daher jemand im Mastkorb 64 (= 8 × 8) engl. Fufs (1 engl. Fufs = 0,305 Meter) über der See, so liegt der Horizont in einer Entfernung von 8 Seemeilen oder 2 geogr. Meilen. Das Ergebnis ist nur um 0,062 zu klein; auch ist hierbei die Wirkung der Strahlenbrechung unbeachtet geblieben [2]. Ebenso zweckmäfsig ist die von Koldewey gegebene Formel [3]. Nach derselben beträgt — und zwar unter Berücksichtigung der mittleren Strahlenbrechung — die Entfernung des Horizontes vom Standpunkte des Beobachters, in Seemeilen ausgedrückt, $1,163\sqrt{h}$, wenn h die Augenhöhe in rheinländischen Fufsen ist (1 rheinl. Fufs = 0,314 Meter). Hiernach würde man von dem 60 rheinl. Fufs hohen Maste eines Schiffes einen Kreis übersehen, dessen Halbmesser 9 Seemeilen (= $2^1/_4$ geogr. Meilen) grofs ist. Derartige Formeln besitzen namentlich insofern einen besonderen Wert, weil sie uns vor dem Fehler bewahren, Distanzen zu überschätzen.

[1]) J. Hann, F. v. Hochstetter und A. Pokorny, Allgemeine Erdkunde. Prag 1872. S. 2 f.

[2]) Herm. v. Schlagintweit-Sakünlünski, Reisen in Indien und Hochasien. Jena 1869. Bd. I, S. 29.

[3]) Die zweite deutsche Nordpolarfahrt in den Jahren 1869 und 1870. Leipzig 1874. Bd. I, Abt. 2, S. 628.

Für den Seefahrer ist es von Bedeutung, zu wissen, wie weit er von der Küste entfernt ist. Hierüber kann ihm das Auftauchen hoher Gegenstände annähernd Aufschlufs geben. Befindet sich sein Auge beispielsweise im Punkt D' (Fig. 18), so würde eben der Punkt C am Horizonte erscheinen. Nun ist in unserem Falle $CD' = CD + DD' = \sqrt{h(2R+h)} + \sqrt{h'(2R+h')}$, wenn h' die Seehöhe des Auges, h die des in der Ferne sich zeigenden Punktes ist. Es ist also die Entfernung eines am Horizonte sichtbar werdenden Punktes durch eine einfache Rechnung zu ermitteln. Hiernach würde man auf einem der Insel Helgoland zusteuernden Schiffe, etwa 4 Meter über der Meeresfläche, das 81,6 Meter hoch über derselben erhabene Leuchtfeuer jener Insel aus einer Entfernung von 39,4 Kilometer oder 5,3 geogr. Meilen erblicken können [1]).

Waren bereits im Altertum die wichtigsten Beweise für die Kugelgestalt der Erde beigebracht worden, so verbreitete sich diese Wahrheit doch nie unter das Volk, sondern stiefs auf Unglauben sogar bei Leuten von solcher Bildung wie Tacitus. Ebenso war man noch im Mittelalter in dem alten Wahne befangen, dafs die Erde eine flache Scheibe sei, bis die Araber die alten Erkenntnisse von neuem retteten. Vom 13. Jahrhundert an zweifelte kein Unterrichteter mehr an der Kugelgestalt der Erde [2]). Indessen sollten die Messungen der Erde, zu denen wir nun übergehen, erweisen, dafs sie auch keine rein sphärische Form habe.

Die erste Messung des Erdkörpers wurde bereits im alten Ägypten ausgeführt [3]). Kein anderes Land eignete sich auch zu diesem Zwecke besser als das Land der Pharaonen; denn das Nilthal hat annähernd eine meridionale Richtung und ist ferner vollkommen flach, bietet also eine treffliche Gelegenheit, eine längere terrestrische Entfernung genau zu ermitteln. Hierzu kommt, dafs die Ägypter wegen der Schlammbedeckung nach den Nilüberflutungen mehr als irgend ein anderes Volk die Kunst der Feldmessung zu üben genötigt waren. Es bestanden hier zwei Reihen von Nomen (Bezirke): die eine östlich, die andere westlich vom Nil; die Grenzen der Nomen aber liefen in der Richtung von Ost nach West von dem Strome bis zum Rande der Kultur. Zum Zwecke der Grundsteuererhebung hatte die Regierung jeden Nomos vermessen, d. h. seine Länge von Süd nach Nord, dem Meridiane nach, und die mittlere Breite von Ost nach West feststellen

[1]) J. Hann, F. v. Hochstetter und A. Pokorny, l. c. S. 3.

[2]) O. Peschel, l. c. S. 35. 667.

[3]) Vgl. zu dem folgenden auch William Abendroth, Darstellung und Kritik der ältesten Gradmessungen (Programm des Gymnasiums zum heiligen Kreuz in Dresden, 1866).

lassen. Durch Multiplikation der beiden Gröfsen ergab sich der Flächeninhalt. Wollte man nun die Ausdehnung des Landes von Süd nach Nord, ohne Rücksicht auf seine seitliche Erstreckung von Ost nach West wissen, so brauchte man nur die Längen der Nomen auf der einen Nilseite zu addieren, und man hatte sogar noch eine Kontrolle, wenn man ebenso die Längen der Nomen auf der anderen Nilseite zusammenzählte [1]).

Auf Grund der angeführten Messungen berechnete der Athener Eratosthenes (276—196 v. Chr.), der von Ptolemäus Euergetes an die alexandrinische Bibliothek berufen worden war, zum ersten Male die Gröfse der Erde. Er erwählte zu diesen Berechnungen den Gradbogen zwischen Alexandria und Syene (Assuan) am Nil, von welchen Orten er fälschlicherweise annahm, dafs sie unter dem nämlichen Mittagskreise lägen. Indessen konnte diese irrige Voraussetzung (Alexandria liegt ziemlich 3 Grad westlicher als Syene) keinen Fehler in der Berechnung herbeiführen, da ja die meridionalen Abstände der Gaugrenzen gemessen worden waren. Eratosthenes wufste nun, dafs am längsten Tage in der Nähe von Syene ein etwa 300 Stadien ($^1/_2$ Grad des gröfsten Kreises) im Durchmesser haltendes Gebiet lag, in welchem senkrecht stehende Gegenstände gleichzeitig keinen Schatten warfen: ein Umstand, der bekanntlich darin begründet ist, dafs nicht nur der unter dem Centrum der Sonne gelegene Punkt, sondern auch die Gegenden unter ihren peripherischen Teilen schattenlos sind [2]). Da nun in Alexandria zur nämlichen Zeit der Winkel, dessen Gröfse der Schatten des Sonnenzeigers bestimmte, den 50. Teil eines Kreises betrug, so schlofs er mit Recht daraus, dafs der Abstand zwischen Syene und Alexandria dem 50. Teile eines Mittagskreises oder 7° 12′ entsprechen

[1]) A. Sprenger im Ausland 1867, S. 1017.

[2]) Der von den alten Schriftstellern, namentlich auch von Plinius erwähnte Brunnen zu Syene wurde jedoch sicher auch zu Eratosthenes' Zeiten nicht genau von dem nördlichen Wendekreise durchschnitten. Syene liegt in 24° 5′ 23″ n. Br., und die Schiefe der Ekliptik beträgt gegenwärtig 23° 27′ 32″; somit müfste die Sonne noch gegen 38′ nach Norden vorrücken, um zur Zeit des Sommersolstitiums senkrecht über Syene zu stehen, und sie würde in einem 47 Meter tiefen Brunnen immer noch einen etwa $^1/_3$ Meter langen Schatten werfen. Nach Lagranges Berechnungen war die Ekliptikschiefe in historischer Zeit im Jahre 2000 v. Chr. am gröfsten, nämlich = 23° 53′, so dafs die Sonne, streng genommen, auch damals nicht über Syene culminierte. Da jedoch die Sonne am Himmel einen scheinbaren Durchmesser von 32′ hat, so stand der nördliche Sonnenrand zu jener Zeit allerdings über Syene senkrecht, und dies dauerte bis zum Jahre 700 v. Chr., d. h. bis sich die Ekliptikschiefe wieder auf 23° 50′ vermindert hatte. Nur bis zu dieser Zeit konnte der Brunnen jährlich einmal ganz beleuchtet werden. Zur Zeit des Eratosthenes (um 240 v. Chr.) betrug die Ekliptikschiefe 23° 44,5′. Sprenger im Ausland 1867, S. 1019 f.

müsse[1]). Nach Eratosthenes ist die Länge eines Meridiangrades = 700 Stadien, der ganze Umfang der Erde somit = 360 × 700 = 252000 Stadien. Um die Genauigkeit dieser Messungen zu prüfen, hat H. Vincent[2]) sorgfältige Untersuchungen über die Länge des von Eratosthenes angewendeten Stadiums angestellt und gefunden, dafs sie gleich ist 158,25 Metern. Hiernach würde ein Meridiangrad 110775 Meter lang sein. Dieses Resultat stimmt so genau mit den Ergebnissen neuerer Messungen überein, dafs man notwendig zu der Annahme geführt wird, Eratosthenes habe sich besserer Hilfsmittel bedient, als gewöhnlich angegeben wird. Vincent schenkt daher den Berichten des Kleomedes keinen Glauben, nach welchen Eratosthenes zur Zeit des Sommersolstitiums den Schatten eines vertikalen Pfahles in Alexandria gemessen und aus seiner Länge den Gradunterschied zwischen Alexandria und Syene bestimmt haben soll. Er hält es vielmehr für wahrscheinlich, dafs in dem alten Apollinopolis magna, dem heutigen Edfu in Oberägypten, wo sich unverkennbare Spuren alter astronomischer Arbeiten finden, ein unter der Leitung gelehrter Priester stehendes Observatorium bestand, in welchem auch Eratosthenes seine Beobachtungen anstellte.

Sollte, was ebenfalls nicht ausgeschlossen ist, die Längeneinheit des eratosthenischen Stadiums der attische Fufs sein (das Stadium = 600 Fufs, der attische Fufs = 0,30828 Meter), so hätte Eratosthenes nicht 700, sondern $601\frac{3}{4}$ Stadien für einen Grad des gröfsten Kreises finden sollen. Wenn er hiernach die Länge eines Meridiangrades um 100 Stadien überschätzt hätte, so würde Ptolemäus (87—165 n. Chr.) dieselbe um ebenso viel zu niedrig angesetzt haben, da er 500 Stadien für die Länge eines Grades angab. Möglich ist es allerdings, dafs diese Differenzen aus dem Gebrauch einer verschiedenen Mafseinheit entsprungen sind[3]).

Nach Eratosthenes haben es die Araber versucht, Bogenstücke der Erde zu messen. So wurden unter der Regierung und im Auftrage des Kalifen Mamun (Kalif von 813—833) auf zwei verschiedenen Gebieten, in den Ebenen von Tadmor (in der syrischen Wüste) und von Sindschar (westlich von Mosul in Mesopotamien), Messungen ausgeführt, und es ergab sich als Länge für einen Meridiangrad 57, resp. $56\frac{1}{4}$ arabische Meilen[4]), wofür man einen Mittelwert von $56\frac{2}{3}$

[1]) Der wahre Unterschied zwischen Alexandria (31° 11′) und Syene (24° $5\frac{1}{2}$′) beträgt nur 7° $5\frac{1}{2}$′.

[2]) Note sur la Mesure de la Terre, attribuée à Eratosthène in Nouv. Ann. des Voyages, Mai 1857. Petermanns Mitteilungen 1857, S. 455.

[3]) O. Peschel, l. c. S. 47 f.

[4]) 1 arabische Meile = 4000 schwarze Ellen à 540,7 Millimeter.

arabischen Meilen (= 122558,7 Meter) annahm. Dieses Resultat kann wenig befriedigen. Die Unsicherheit der damaligen Messungen wurde nicht blofs hervorgerufen durch Bodenanschwellungen und Abirrungen vom Mittagskreise, sondern besonders dadurch, dafs die arabischen Astronomen wegen ungenügender Instrumente die Polhöhen nicht mit der erforderlichen Schärfe zu bestimmen vermochten, zumal sie mit grofser Hast hierbei verfuhren. Da ihre Ergebnisse von denen der ägyptischen Messungen nicht sehr abweichen, so ist die Vermutung nicht ganz unbegründet, dafs die Astronomen Mamuns die Arbeit sich aufserordentlich leicht machten und einfach nur die geläufigen Angaben des Altertums in arabische Meilen übersetzten.

Ebenso wenig vertrauenswürdig ist die Messung des französischen Arztes Jean Fernelius (1497—1558), welcher den Abstand zwischen Paris und Amiens auf der Fahrstrafse aus der Zahl der Umdrehungen eines Postwagenrades, die Breitenunterschiede beider Orte aber durch Sonnenhöhen berechnete. Er erhielt hierbei für einen Grad des gröfsten Kreises einen Längenwert von 68096 geometrischen Schritten zu 5 Fufs (pieds du Roi) oder 56747 Toisen (110602 Meter)[1]. Da der Astronom Picard auf demselben Bogen später 57060 Toisen fand, so würde sich Fernelius der Wahrheit bis auf 0,006 genähert haben. Doch bestimmte Fernelius die Breite von Paris auf 48° 38′, also um 12 Minuten zu südlich. Welches Vertrauen können uns also seine Sonnenhöhen einflöfsen? Das Urteil des Snellius, dafs Fernelius nur das Ergebnis der arabischen Gradmessung willkürlich in geometrische Schritte umgewandelt, seine Zeitgenossen aber durch Blendwerk getäuscht habe, ist daher nur allzu begründet[2].

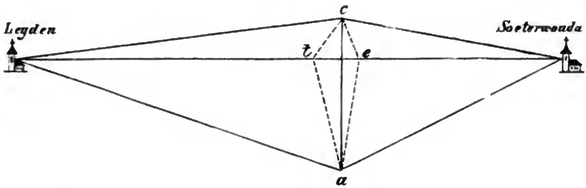
Der Ruhm, die Gröfse der Erde durch ein im Princip richtiges und für jene Zeit tadelfreies Verfahren zuerst ermittelt zu haben, gebührt dem Holländer Willebrord Snellius (1591—1626). Er mafs im Jahre 1615 den Erdbogen zwischen Bergen op Zoom und Alkmaar durch eine Kette von Dreiecken (s. Fig. 19). Sobald man die Länge der Seite eines Dreiecks und die Gröfse der beiden anliegenden Winkel kennt, lassen sich durch eine einfache Rechnung die unbekannten Längen der beiden anderen Seiten feststellen. Benützt man eine dieser berechneten Seiten als Grundlage eines neuen Dreiecks, so ergeben sich, wenn die Winkel gemessen sind, abermals die unbekannten Längen der beiden anderen Seiten des neuen Dreiecks auf arithmetischem Wege. Als Spitzen seiner Dreiecke erwählt der Erdmesser gewöhnlich die

[1] Johannis Fernelii Ambiantis Cosmotheoria. Parisiis 1528, Schol. cap. I, fol. 3 sq.

[2] O. Peschel, l. c. S. 394, Nota 3.

Thürme der nächsten Ortschaften oder andere befestigte oder günstig gelegene Gegenstände. Gleichgültig ist es dabei, ob die Kette der Dreiecke sich genau durch einen Mittagskreis bewegt oder nicht, da inner-

Fig. 19.

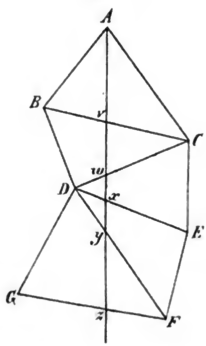


Snellius' Triangulation zwischen Leyden und Soeterwouda (Facsimile). *te* ist die erste gemessene Grundlinie, aus welcher die Dreieckseiten *tc*, *ec* sowie *ta* und *ea* berechnet wurden, durch die sich wieder die Gröfse von *ca* ergab, welche, wiederholt ausgemessen, als Grundlinie der beiden Dreiecke diente, deren Spitzen die Türme der nächsten Orte berührten.

halb einer Kette von Dreiecken, wo die Gröfse aller Seiten und aller Winkel bekannt ist, auch die des Meridianbogens durch Berechnung sich ermitteln läfst.

Wollte man z. B. von A aus die Länge eines Meridianbogens messen, welcher zwischen den durch Kirchtürme oder andere hohe Gegenstände ausgezeichneten Orten B, D, G und C, E, F (Fig. 20) hindurchführt, so würde man etwa in folgender Weise verfahren: Man denkt sich zunächst die genannten Punkte durch Gerade verbunden, wodurch man ein Netz von Dreiecken erhält. Man mifst nun die Standlinie AB und die an ihr anliegenden Winkel des Dreiecks ABC, ferner auch die Winkel, welche die zum Meridian gehörige Linie Av mit AB und AC bildet, und so lassen sich alle Seiten und Winkel der Dreiecke ABv und ACv trigonometrisch berechnen. Durch weitere Winkelmessungen und Berechnungen wird in der nämlichen Weise auch die Gröfse der Meridianstücke vw, wx, xy und yz festgestellt. Es leuchtet ein, dafs es gleichgültig ist, welche Linie man als Basis benützt, wenn sie nur sonst auf hierzu günstigem, d. h. ebenem Terrain liegt.

Fig. 20.



Dreieckskette zur Messung eines Meridianbogens.

Snellius hat die Standlinie *te* (87 rhein. Ruten 5 Zoll oder 327,8 Meter) und als Kontrollbasis *ac* (326,4 rhein. Ruten oder 1229,2 Meter) gemessen (s. Fig. 19), also nur sehr kleine Linien; auch war das Werkzeug zum Ablesen der Winkel ($2^1/_5$ Fuſs rhein. oder 0,7 Meter im Radius) noch nicht mit einem Fernrohre versehen. Dennoch befriedigen uns die gefundenen Entfernungen zwischen den Endpunkten der trigonometrischen Kette durch ihre Genauigkeit. Im Jahre 1617 veröffentlichte er das Ergebnis seiner Arbeiten[1], wornach einem Erdgrade auf dem Bogen zwischen Alkmaar ($52^0\ 40^1/_2{}'$ nördl. Breite) und Bergen op Zoom ($51^0\ 29'$ n. Br.) 28 500 rhein. Ruten (107 338 Meter) zukommen sollten. Es hat sich später gezeigt, daſs jene 28 500 Ruten 55 100 Toisen entsprochen haben würden und Snellius' Messung um 2000 Toisen (3900 Meter) oder $^2/_{57}$ zu kurz ausfiel. Der Fehler entsprang gröſstenteils aus der ungenauen Bestimmung der Polhöhe von Alkmaar[2], die wir dem wackeren Manne um so mehr nachsehen müssen, als auf dem Messingbogen seines Quadranten nur Winkel von 3 Bogenminuten abgeteilt waren, kleinere Gröſsen daher zwischen den Teilungsstrichen vom Auge geschätzt werden muſsten[3]. Bedeutungsvoll ist Snellius' Gradmessung insbesondere in methodischer Beziehung gewesen; sein Verfahren, das der Triangulation, ist zwar nach verschiedenen Hinsichten verschärft, in seinen Grundzügen aber bis auf den heutigen Tag beibehalten worden.

Snellius berechnete seine Dreiecke, als ob sie in einer Ebene und nicht auf einer gekrümmten Kugelfläche gelegen gewesen wären. Er vernachlässigte also den sphärischen Exceſs, und er war dazu berechtigt, da seine mangelhaften Instrumente noch bei weitem nicht dem Beobachter gestatteten, sich der Wahrheit bis auf sehr geringe Gröſsen zu nähern. Wie die Winkel seiner Dreiecke, so bestimmte er nämlich auch die Polhöhen an den Endpunkten der Dreiecke mit optischen Instrumenten ohne Linsengläser. Noch vermochte man die geographische Breite eines Ortes kaum bis auf eine Bogenminute genau anzugeben. Erst als durch Erfindung des Fadenkreuzes[4] das Fernrohr, welches bis dahin nur ein Raum durchdringendes Instrument gewesen war, zu einem Werkzeug der Winkelmessung von höchster Schärfe erhoben wurde, begann ein neuer Abschnitt auch für die Erdmessungen. Gleichzeitig kam die Erfindung der Logarithmen (sie fällt

[1]) Eratosthenes Batavus, De Terrae ambitus vera quantitate. Lugd. Batav. 1617.

[2]) Sie sollte lauten: $52^0\ 38'\ 2''$ statt $52^0\ 40^1/_2{}'$.

[3]) O. Peschel, l. c. S. 396 f.

[4]) Der Erfinder desselben ist William Gascoigne, geb. 1621, gefallen 1644 in der Schlacht bei Marston-Moor.

in den Anfang des 17. Jahrhunderts) den hiermit verbundenen Berechnungen aufserordentlich zu statten.

Im Jahre 1669 berief Ludwig XIV. Jean Dominique Cassini an die Pariser Sternwarte. Um den König — so erzählt Delambre in seiner Geschichte der Astronomie — durch etwas zu erfreuen, was ihm mehr Unterhaltung bieten konnte als die trocknen Arbeiten der Sternwarte, beschlofs man, die Gröfse der Erde zu messen. Man übertrug die Ausführung der Mefsarbeiten dem berühmten Picard (1620—1682). Derselbe mafs in den Jahren 1669 und 1670 einen Erdbogen von 1° 21′ 57″ zwischen Malvoisine und Amiens. Er beobachtete hierbei das nämliche Verfahren wie Snellius, nur dafs er die Polhöhen an den Endpunkten des Bogens durch das Fernrohr bestimmte und statt einer Grundlinie von 87 Ruten eine solche von 5663 Toisen (1 Toise = 1,949 Meter) mafs. Auch er ermittelte am Schlufs noch auf geodätischem Wege die Länge einer Linie am Enddreieck, um zu sehen, ob in der Winkelmessung der Dreiecksberechnung kein Fehler vorgekommen war. Als Ergebnis erhielt Picard für die Gröfse eines Erdgrades 57060 Toisen (= 111212 Meter)[1]).

Von allen älteren Messungen hat sich die Picardsche der Wahrheit mit wunderbarer Genauigkeit genähert, weil durch einen seltenen Zufall die astronomischen Irrtümer die geodätischen Ungenauigkeiten ausglichen[2]). Gerade deshalb ist sie für die Geschichte der menschlichen Erkenntnisse von unabsehbarer Wirkung gewesen; denn bereits war Newton (1642—1726) auf der Spur seines wichtigen Gravitationsgesetzes, welches er aus den Wirkungen der gegenseitigen

[1]) De la Hire, Traité du Nivellement par M. Picard. Paris 1684. p. 181. 196.

[2]) Zu Picards Zeiten kannte man weder die Aberration des Lichtes, noch die Nutation der Erdachse; ferner wurde das Vorrücken der Nachtgleichen und bei den Sternen in der Nähe des Zeniths die Wirkung der Strahlenbrechung als zu geringfügig vernachlässigt. Im Jahre 1739 wurde die Picardsche Grundlinie von Cassini de Thury und Lacaille abermals gemessen und ihre Länge statt 5663 Toisen nur 5657 Toisen 2 Fufs 8 Zoll gefunden, so dafs der Erdbogen zwischen Dünkirchen und Collioure um 820 Toisen gekürzt werden mufste. Gleichzeitig aber ergab sich, dafs die Polhöhe von Dünkirchen um 19″ zu nördlich und die von Collioure um 33″ zu südlich angenommen worden war, so dafs die Summe der beiden astronomischen Fehler (52″) fast genau 820 Toisen auf dem ganzen Bogen entsprach, der mittlere Längenwert eines Erdgrades also in Frankreich unverändert blieb, wie ihn Picard gefunden hatte (Cassini de Thury, La Méridienne de l'Observatoire de Paris. Supplement zu Histoire et Mémoires de l'Académie des Sciences. Année 1740. Paris 1745. p. 37. 291). Eine abermalige Messung vom Jahre 1756 bestätigte das Ergebnis von 1739. O. Peschel, l. c. S. 658, Nota 1.

Anziehung der Erde und des Mondes abzuleiten versuchte. Der mathematische Beweis wäre ihm nie gelungen, wenn er nicht die Gröfse der Erde gekannt hätte. Die Messung des Snellius enthielt nämlich noch so grofse Fehler, dafs sich jenes Gesetz nicht bestätigte und Newton seine Nachforschungen wieder bei Seite gelegt hatte. Er nahm sie erst wieder auf, als ihm die Picardsche Erdbogengröfse bekannt wurde, und er geriet, als ihm eine erste Berechnung die Richtigkeit seines Gesetzes zeigte, in eine solche nervöse Aufregung, dafs er nicht im stande war, seine Berechnung zu wiederholen, sondern zu dieser Aufgabe Freundeshilfe anrufen mufste [1]).

Kannte man damals die Gröfse der Erde bereits mit befriedigender Genauigkeit, so war man doch immer noch in dem alten Irrtum befangen, die Erde sei eine vollkommene Kugel. Erst in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurden Zweifel an der reinen Kugelgestalt der Erde laut; theoretische Gründe wie gewisse Wahrnehmungen an Uhren schienen auf ansehnliche Abweichungen hinzuweisen. Picard machte insbesondere darauf aufmerksam, dafs, wie aus mehreren Beobachtungen hervorgehe, ein Sekundenpendel verkürzt werden müsse, wenn man es dem Äquator näher bringe. Zur Feststellung dieser Thatsache, sowie zur Ausführung anderer astronomischer Arbeiten wurde Jean Richer am 8. Februar 1672 von der Pariser Akademie nach Cayenne geschickt, wo er am 27. April ankam und Ende Mai 1673 seine Aufgaben beendete. Während seines Aufenthalts daselbst fand er, dafs seine Uhr täglich um $2^1/_2$ Minuten zurückblieb und das Pariser Sekundenpendel dort um $1^1/_4$ Par. Linien oder um $^1/_{350}$ seiner Gesamtlänge zu grofs sei, was Newton nach Richers Rückkehr sofort als eine notwendige Folge der Gestalt und Rotation der Erde erkannte. Die Gestalt der Erde ist hierbei insofern im Spiel, als (wegen der Abplattung der Erde an den Polen) die äquatorialen Teile vom Erdmittelpunkte weiter entfernt sind als die polaren und nach Newtons Gravitationsgesetz die Schwere mit dem Quadrat des Abstandes vom Anziehungsmittelpunkte abnimmt, die Rotation der Erde aber insofern, als die der Schwere entgegenwirkende Fliehkraft von den Polen nach dem Äquator zunimmt, da die Fliehkraft eines Punktes an der Erdoberfläche nach dem Quadrat des Cosinus der geographischen Breite variiert.

Neben Newton verteidigte auch Huyghens (1629—1695) die Abplattung der Erde an den Polen. Die beiden grofsen Physiker und Mathematiker wiesen namentlich darauf hin, dafs, wenn die Erde

[1]) C. M. Bauernfeind, Die Bedeutung moderner Gradmessungen. München 1866. S. 16 ff.

einmal flüssig oder doch nur eine plastische Masse gewesen sei, sie nach den Gesetzen der Fliehkraft die von ihnen angenommene abgeplattete Gestalt erhalten haben müsse. Huyghens, der alle Anziehungskraft in den Mittelpunkt der Erde verlegte, was der Annahme eines unendlich dichten Erdkernes gleichkommt, fand für die Abplattung nur einen Wert von $^1/_{578}$ [1]). Newton hingegen, welcher von der Voraussetzung ausging, dafs die Erde in allen ihren Schichten gleiche Dichtigkeit besitze, berechnete einen Abplattungseffekt von $^1/_{230}$ [2]). Huyghens' wie Newtons Annahmen waren unrichtig und mufsten zu völlig entgegen gesetzten Resultaten führen. Die später wirklich gefundene Abplattung liegt innerhalb der von beiden theoretisch geforderten Grenzwerte.

Da sich Richers Beobachtungen in Cayenne auch anderwärts bestätigten, so zweifelte in der Folge niemand mehr daran, dafs die Anziehungskraft der Erde, gemessen an der Geschwindigkeit schwingender Pendel, von den Polen nach dem Äquator abnehme. Doch trug man Bedenken, hieraus die Folgerung abzuleiten, dafs die Erde an den Polen abgeplattet sei. Im Gegenteil behauptete ein Teil der Gelehrten, namentlich die beiden Astronomen Cassini in Paris, dafs man sich die Erde in der Richtung der Drehungsachse verlängert denken müsse, dafs sie also hinsichtlich ihrer Gestalt nicht einer Orange, sondern einem Ei gleiche.

Wurde durch die Fehlerkompensationen der Picardschen Messung der Wahrheit zum Siege verholfen, so sollte bei Fortsetzung der Picardschen Arbeit durch einseitige Aufhäufung von Fehlern die Aufdeckung eines grofsen Irrtums verzögert werden. Die Mefskunst der damaligen Zeit besafs eben noch nicht die Schärfe, um die Abplattung der Erde bestätigen zu können, die bereits das Pendel angezeigt hatte. In der Zeit von 1680 bis 1718 wurde die Kette der Dreiecke von den Cassini mit Hilfe der Maraldi und de Lahire bis nach Dünkirchen an den Canal la Manche und bis Collioure bei den Pyrenäen an das Mittelmeer verlängert. Man fand als letztes Ergebnis, dafs auf dem südlichen Stück von Paris nach Collioure die Meridiangrade (57 097 Toisen) merklich gröfser waren als die auf dem nördlichen Stück von Paris bis Dünkirchen (56 960 Toisen), so dafs

[1]) Dieser Bruch sagt uns, dafs, wenn man $^1/_{578}$ vom Äquatorialhalbmesser *(a)* an die halbe Polarachse *(b)* der Erde setzt, diese ebenso grofs wie der Äquatorialhalbmesser wird; in Buchstaben ausgedrückt ist also der Abplattungswert $= \frac{a-b}{a}$.

[2]) Is. Newton, Philosophiae natur. Principia mathematica. Lib. III, p. 423 sq.

also die Erde nicht einem abgeplatteten, sondern einem eiförmigen Körper hätte gleichen sollen [1]).

So harrte die brennende Streitfrage, ob die Erdgestalt sich mehr mit der Form einer Pomeranze oder einer Citrone vergleichen lasse, noch immer ihrer Lösung, und man schien diesmal weiter als sonst von derselben entfernt zu sein. Wiederum sollte durch königliche Unterstützung und unter Leitung der Pariser Akademie das Problem gelöst werden.

Jene Widersprüche konnten nur erledigt werden, wenn man zwei gemessene Meridianbogen verglich, bei denen die Wirkung der Abplattung oder der Achsenverlängerung sehr fühlbar sein mufste, nämlich unter dem Äquator und am Polarkreis. Ist die Erde an den Polen abgeplattet, so gehören die Polargegenden gleichsam zu einer Kugel von gröfserem Durchmesser als die Äquatorialgegenden, und die Bogengrade der Mittagskreise müssen demnach vom Äquator nach den Polen wachsen. Ist die Kugel aber eiförmig in die Länge gezogen, so müssen die Bogengrade vom Äquator nach höheren Breiten an Gröfse abnehmen. Aus dem Unterschied der Gradlänge am Pol und am Äquator kann man die Abplattung der Erde bestimmen. Man sandte daher zur Entscheidung der Frage eine Anzahl französischer Astronomen nach Lappland und eine andere Abteilung nach Peru, um in beiden Ländern die Gröfse eines Meridiangrades genau ermitteln zu lassen.

Die nördlichen Erdmesser Maupertuis, Clairaut, Camus, Lemonnier, denen sich auf Wunsch des Königs Celsius, der Astronom Upsalas, anschlofs, begannen ihre Arbeiten bei Torneå am 6. Juli 1736 und führten ihre Dreiecke 0° 57′ 28,5″ gegen Norden bis nach dem Kittis. Im nächsten Winter mafsen sie eine Grundlinie von 7406 Toisen 5 Fufs (14 436 Meter) auf der Eisdecke des gefrorenen Torneåflusses und beendigten ihre Arbeiten allzurasch bereits im Frühjahr 1737. Am 13. November des nämlichen Jahres konnte Maupertuis der Pariser Akademie verkündigen, dafs der Grad eines Meridians am Polarkreis eine Länge von 57 438 Toisen (111 949 Meter) habe, mithin 378 Toisen (737 Meter) gröfser sei als in Frankreich nach der Picardschen Messung, dafs also nach diesen Ergebnissen die Abplattung der Erde an den Polen als erwiesen gelten müsse [2]).

[1]) Livre de la Grandeur de la Terre. Suite des Mémoires de l'Académie des Sciences. Paris 1720. p. 237.

[2]) Maupertuis, Figure de la Terre. Amsterdam 1738. p. 64. 80. Nach der in den Jahren 1801 bis 1803 von Svanberg in der Nähe von Torneå ausgeführten Messung hat ein Meridiangrad am Polarkreis nur eine Länge von 57 196 Toisen (111 477 Meter). Dieser Wert pafst weit besser als der von Maupertuis gefundene zu den in anderen Erdgegenden erhaltenen Gradlängen,

Die peruanischen Erdmesser waren Bouguer, Lacondamine und Godin, denen sich von spanischer Seite zwei Offiziere, Don Antonio de Ulloa und Don Jorge Juan anschlossen. Am 16. Mai 1735 verliefsen sie Europa und kamen am 13. Juni 1736 in Quito, ihrem Hauptquartiere an. Das unebene Hochland war für sie ein aufserordentlich ungünstiges Arbeitsfeld. In der Nähe von Quito wurde die erste Grundlinie (6272 Toisen = 12 224 Meter) vom 3. Oktober bis 3. November, drei Jahre später am Südpunkte der Dreieckskette auf der Ebene von Tarqui, südlich von Cuenca (August 1739) die Prüfungslinie (Verificationsbasis von 5259 Toisen = 10 250 Meter) gemessen, deren Gröfse Bouguer auf 1 bis $1^1/_3$ Meter, Lacondamine bis auf 2 Meter übereinstimmend mit der trigonometrischen Berechnung fand. Die Dreieckskette war auf der nördlichen Erdhälfte wenige Minuten diesseits des Äquators befestigt worden und erstreckte sich, links und rechts auf Höhenpunkte der Cordilleren gestützt, in einer Gesamtlänge von 3° 7' 3" gegen Süden; sie liegt also ganz innerhalb des heutigen Ecuador. Als letztes Ergebnis erhielt Lacondamine für den Längenwert eines Grades am Mittagskreise in Peru 56 750 Toisen (110 608 Meter)[1]. Somit beträgt nach den angeführten Messungen die Länge eines Meridiangrades

in Peru . . . . 56 750 Toisen (110 608 Meter),
in Frankreich (n. Picards Messungen) 57 060 Toisen (111 212 Meter),
in Lappland . . . . 57 438 Toisen (111 949 Meter).

Diese Zahlen beweisen evident die Abplattung der Erde an den Polen, obwohl sie, wie aus dem folgenden hervorgeht, an Genauigkeit noch viel zu wünschen übrig lassen. Verglich man den lappländischen Meridianbogen mit dem peruanischen, so ergab sich eine Abplattung von $^1/_{169}$; verglich man hingegen den französischen Erdbogen mit dem peruanischen, so erhielt man eine Abplattung von nur $^1/_{303,6}$. So war man also noch immer weit entfernt von übereinstimmenden Werten. Ganz korrekte Resultate durfte man übrigens von den damaligen Unternehmungen gar nicht erwarten. Wir erinnern hier daran, dafs die Gradmessung in Peru nur etwa die Genauigkeit der neuen Schwarzburg-Sondershausenschen Kataster-Vermessungen besitzt, — bei Katasteraufnahmen aber kann bekanntlich von der höchsten Genauigkeit abgesehen werden — d. h. eine Genauigkeit von $^1/_{5000}$ der Entfernungen, während jetzt von den Gradmessungsdreiecken

woraus hervorgeht, dafs Maupertuis' Bogen sehr fehlerhaft bestimmt worden war.

[1]) Lacondamine in den Mémoires de l'Académie des Sciences. Paris 1751. p. 678 sq. Vgl. O. Peschel, l. c. S. 541 ff.

$^1/_{100\,000}$ gefordert wird [1]). Somit ist die Genauigkeit seit der französischen Expedition nach Peru, also seit etwa 150 Jahren, um das Zwanzigfache gesteigert worden. Hieraus erklärt sich, daſs der peruanische und der lappländische Bogen zur Zeit kaum mehr als einen historischen Wert für uns besitzen; insbesondere wird der letztere bei Berechnung der Erdabplattung nicht mehr zu Rate gezogen.

Fortan war es eine Hauptaufgabe der Erdmessung, den Betrag der Abplattung genau zu bestimmen. Man rief zunächst hierzu dasjenige Instrument zu Hilfe, das zuerst die Abirrung des Erdkörpers von der Kugelgestalt verraten hatte: das Pendel.

Obwohl die Pendelmessungen nur zur Bestimmung der Gestalt, nicht aber der Gröſse der Erde brauchbar sind, müssen wir sie dennoch als ein auſserordentlich wichtiges Hilfsmittel neben den Gradmessungen betrachten. Ist doch das Pendel ein „Fühlhebel", den wir der Erde auch da anlegen können, wo — wie auf entlegenen Inseln im Ocean — geodätische Messungen unmöglich sind! [2])

Das Pendel ist ein Apparat, welcher uns genauen Aufschluſs giebt über die Intensität der Schwere an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche. Ein bekanntes physikalisches Gesetz lehrt uns, daſs, wenn ein und dasselbe Pendel an verschiedenen Stationen oder unter dem Einflusse verschiedener Kräfte schwingt, sich die Zahl der Schwingungen in gleichen Zeiträumen nicht gleichbleibt und daſs sich die Intensitäten der Kräfte zu einander verhalten wie die Quadratzahlen der Schwingungen in gleichen Zeiten. So wird z. B. gefunden, daſs ein Pendel von einer gewissen Länge, welches am Äquator an einem Tage (mittlere Sonnenzeit) 86400 Schwingungen macht (also ein Sekundenpendel für die äquatorialen Gebiete), in London in derselben Zeit 86535 Oscillationen vollendet. Demnach verhält sich die Intensität der Schwerkraft am Äquator zu derjenigen in London wie $86400^2 : 86535^2$ oder wie 1 : 1,00315, d. h. 100000 Pfunde üben in London denselben Druck auf ihre Unterlage aus wie 100315 gleich gewichtige Londoner Pfunde am Äquator [3]). Man könnte ebenso gut die Intensität der Schwere messen, indem man ein Pendel beim Übergang nach einer neuen Beobachtungsstation so lange verkürzt oder verlängert, bis seine Schwingungen genau den Zeitraum einer Sekunde ausfüllen. Die Werte der Schwerkraft verhalten sich dann gerade so zu einander wie die

[1]) J. J. Baeyer in Behms Geographischem Jahrbuch. Bd. III (1870), S. 157.

[2]) J. B. Listing, Gestalt und Gröſse der Erde. Göttingen 1872. S. 10 f.

[3]) Sir John F. W. Herschel, Outlines of Astronomy. New edition. London 1875. § 235, p. 148.

Längen der Pendel. Indessen ist die letztere Methode weniger bequem und wird daher auch seltener in Anwendung gebracht.

Schon seit Richers denkwürdiger Reise nach Cayenne im Jahre 1672 war es erwiesen, dafs die Schwerkraft nach dem Äquator zu eine Verminderung erleidet. Dieser Abnahme aber kann, wie bereits oben angedeutet wurde, eine doppelte Ursache zu Grunde liegen. Sie kann einmal durch die Abplattung der Erde hervorgerufen werden, da die Schwere mit dem Quadrat des Abstandes vom Anziehungsmittelpunkte abnimmt, somit an den vom Erdmittelpunkte weiter entfernten äquatorialen Teilen sich weniger wirksam erweist als an den diesem näher liegenden polaren Teilen. Zweitens aber kann und mufs sie eine Folge der durch die Rotation allen Punkten der Erdoberfläche mitgeteilten Fliehkraft sein. Da ein Punkt des Äquators in derselben Zeit eine Umdrehung erleidet wie ein dem Pole näher liegender, also einen weiteren Weg in derselben Zeit zurücklegt, so mufs seine Geschwindigkeit und somit auch seine Fliehkraft eine gröfsere sein. Die Fliehkraft irgend eines Punktes entspricht aber, wie Clairaut nachgewiesen hat, stets dem Quadrat des Cosinus der geographischen Breite; sie ist also am Äquator am gröfsten und an den Polen gleich Null. Da nun die Fliehkraft der Schwere entgegenwirkt, so wird die letztere am Äquator eine bedeutendere Verminderung erfahren als nach den Polen zu, an diesen selbst aber gar keine.

Nun ist es wichtig, das Verhältnis zwischen Fliehkraft und Schwere am Äquator zu kennen. Die Physik lehrt, dafs die beschleunigende Wirkung der Fliehkraft direkt proportional ist dem Quadrat der Geschwindigkeit und umgekehrt proportional dem Halbmesser der Bahn, welche ein Körper beschreibt. Bei der kreisförmigen Bahn, die ein Punkt am Äquator zurücklegt, ist also, wenn r den Erdhalbmesser (= 6 377 377 Meter), T die Umdrehungszeit (ein Sterntag, d. h. die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Culminationen eines Fixsternes, = 86 164 Sekunden) bezeichnet, die Gröfse der Fliehkraft

$$f = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi r)^2}{T^2 r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 0{,}0339 \text{ Meter.}$$

Da die Fliehkraft am Äquator der Schwerkraft direkt entgegenwirkt, so mufs die Beschleunigung der Schwere am Äquator 0,0339 Meter kleiner sein als an den Polen. Die Beschleunigung der Schwere am Äquator (g) ist aber 9,7807 Meter; somit verhält sich die Fliehkraft zur Schwere oder

$$f : g = 0{,}0339 : 9{,}7807 = 0{,}0035 : 1 \text{ oder } 1 : 288{,}5.$$

Clairaut hat schon im Jahre 1743 nachgewiesen, welches Verhältnis zwischen der Zunahme der Schwerkraft vom Äquator zum Pol

und der Gröfse der Abplattung besteht. Dieses Clairautsche Theorem lautet: Wie auch die Massen im Innern der Erde verteilt sein mögen, so ist doch die Summe der Abplattung und des Verhältnisses zwischen der Zunahme der Schwere vom Äquator bis zum Pol und der äquatorialen Schwere gleich dem Verhältnis der Fliehkraft am Äquator zur Schwere daselbst multipliziert mit $2^1/_2$. Bezeichnen wir mit α die Abplattung, mit β das Verhältnis zwischen der Zunahme der Schwere vom Äquator bis zum Pol und der Schwere am Äquator und mit γ das Verhältnis der Fliehkraft am Äquator zur Schwere daselbst, so stellt sich dieses für die Theorie der Gestalt der Planeten fundamentale Theorem in Zeichen einfach so dar:

$$\alpha + \beta = \frac{5}{2}\,\gamma.$$

Hieraus ergiebt sich, dafs das Abplattungsverhältnis

$$\alpha = \frac{5}{2}\,\gamma - \beta.$$

Für das Verhältnis zwischen Fliehkraft am Äquator und Schwere daselbst (γ) haben wir oben bereits den Wert 0,0035 oder $^1/_{288.5}$ ermittelt. Wir bedürfen demnach zur Berechnung des Abplattungswertes nur die Feststellung der Intensität der Schwere am Äquator und am Pole oder besser das Gesetz der Schwerezunahme nach dem Pol. Die Schwerkraft an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche läfst sich aber leicht mit Hilfe des Pendels messen; denn die Intensitäten der Schwerkraft verhalten sich zu einander wie dir Quadratzahlen der Schwingungen eines und desselben Pendels während eines Sterntages oder wie die Längen der Sekundenpendel (vgl. S. 164).

Die ausgedehnteste Reihe wertvoller Pendelbeobachtungen verdanken wir dem Engländer Edward Sabine[1]). Unterstützt von der englischen Regierung, die ihm zu diesem Zwecke ein Kriegsschiff zur Verfügung gestellt hatte, trug er im Jahre 1822 das Greenwicher Pendel bis in die äquatorialen Gebiete und im folgenden Jahre nach dem hohen Norden (Spitzbergen). Er stellte Beobachtungen an bei Sierra Leone, auf San Thomé, auf Ascension, in Bahia, in Maranham (Brasilien), in Port of Spain (Trinidad), auf Jamaica, in New-York, ferner (im Jahre 1823) bei Hammerfest, in Fair Haven (Nordspitzbergen), Grönland und Throndhjem, zusammen also (incl. der Beobachtungen in London) an 13 Punkten verschiedener Breite, vom Äquator bis zum 80. Breitengrade. Es ergaben sich hierbei für die Länge des Sekundenpendels beispielsweise folgende Werte:

[1]) Edward Sabine, An Account of Experiments to determine the Figure of the Earth. London 1825.

Ort	Breite	Länge des Sekundenpendels in engl. Zollen
San Thomé	0° 24′ 41″ n. Br.	39,012
Ascension	7° 55′ 48″ s. Br.	39,024
Jamaica	17° 56′ 7″ n. Br.	39,035
New-York	40° 42′ 43″ n. Br.	39,101
London	51° 31′ 8″ n. Br.	39,139
Throndhjem	63° 25′ 54″ n. Br.	39,174
Spitzbergen	79° 49′ 58″ n. Br.	39,215

Aufser E. Sabine haben Biot, Arago, Mathieu, Kapitän Henry Kater, Louis de Freycinet, Foster, Kapitän Duperrey, Kapitän Lütke u. a. an zahlreichen Orten sorgfältige Pendelbeobachtungen angestellt.

Neuerdings hat J. B. Listing alle bisherigen Beobachtungen und Berechnungen einer sorgfältigen Diskussion unterworfen und ist hierbei zu folgenden, der Wahrheit jedenfalls sehr nahe kommenden Mittelwerten gelangt[1]):

Als Gesetz für die Abnahme der Schwere mit der geographischen Breite ergiebt sich die Gleichung $g_\varphi = 9{,}780\,728 + 0{,}050\,875 \cdot \sin \varphi^2$, wenn g_φ die Schwere unter der Breite φ bezeichnet. Die Abnahme erfolgt also rascher, als wenn die Fliehkraft allein dabei im Spiele wäre. Reduziert auf das Niveau des Meeres ergeben sich für 0, 45 und 90° folgende Werte für die Länge des Sekundenpendels und die Beschleunigung der Schwere:

Geogr. Breite	Länge des Sekundenpendels	Beschleunigung der Schwere
0	990,9948 Millimeter	9,780 728 Meter
45	993,5721 „	9,806 165 „
90	996,1495 „	9,831 603 „

Nun besitzen wir alle Werte, um die Abplattung der Erde zu berechnen; denn in die obige Formel

$$\alpha = \frac{5}{2}\gamma - \beta$$

setzen wir nun (nach Listing) für γ den Wert 0,003 467 199 und für β (das Verhältnis der Zunahme der Schwere vom Äquator bis zum Pol zu der Schwere am Äquator)

$$\frac{9{,}831\,603 - 9{,}780\,728}{9{,}780\,728} = \frac{0{,}050\,875}{9{,}780\,728} = 0{,}005\,201\,555.$$

[1]) J. B. Listing, Neue geometrische und dynamische Konstanten des Erdkörpers in den Nachrichten von der Kgl. Gesellschaft d. W. zu Göttingen 1877, S. 797 f.

Demnach ist

$$\alpha = 2{,}5 \cdot 0{,}003\,467\,199 - 0{,}005\,201\,555$$
$$= 0{,}003\,466\,445 \text{ oder } \frac{1}{288{,}4800}.$$

Diese Zahl stimmt mit dem von Sabine gefundenen Abplattungswert von $^1/_{288,4}$ nahezu überein.

Vergleicht man die durch Rechnung ermittelten Längen des Sekundenpendels mit den wirklich beobachteten, so stellen sich oft nicht geringe Differenzen heraus. Mögen dieselben auch zum Teil den jeder Messung anhaftenden Beobachtungsfehlern zuzuschreiben sein, so sind sie doch zu ansehnlich, als dafs diese allein die Ursache davon sein könnten; denn die Länge des Sekundenpendels läfst sich jetzt mit einer Genauigkeit von $^1/_{76\,800}$ bestimmen, während die thatsächliche Abweichung oft über fünfmal so grofs ist[1]. Es ist vielmehr erwiesen, dafs besondere geognostische Verhältnisse in einzelnen Fällen ansehnliche lokale Abweichungen in der Intensität der Schwere hervorrufen, so dafs — wie A. v. Humboldt sagt — das Pendel als eine Art geognostisches Senkblei betrachtet werden kann, welches sich in tiefe, ungesehene Erdschichten werfen läfst[2]. Vor allem aber sind jene Differenzen eine Folge gewisser Unregelmäfsigkeiten, welche die oceanischen Flächen darbieten. Die Meeresoberfläche besitzt nämlich nicht die Gestalt eines reinen Rotations-Ellipsoids, wie wir sie uns vorzustellen gewohnt sind; es werden vielmehr die oceanischen Wasser durch die Attraktion der 2,5mal so dichten Massen der Erdfesten, welche im Mittel gegen 4000 Meter über den Meeresgrund aufragen, an den Rändern der Kontinente emporgehoben und zwar in geringerem oder stärkerem Mafse je nach der Gröfse der Festlande und der Dichtigkeit der Gesteine, durch welche sie gebildet werden[3]. Man hat mit grofser Übereinstimmung wahrgenommen, dafs auf den Festlandspunkten die kleineren, auf den Inseln die gröfseren Beträge der Schwerkraft sich ergeben und die Ausnahmen, die etwa vorkommen, sich

[1] J. B. Listing, l. c. S. 783.

[2] A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 29.

[3] Näher ausgeführt ist dies schon bei M. Saigey, Petite Physique du Globe. Paris 1842. Gründlicher wurde diese Frage erörtert von G. G. Stokes in dem Aufsatze „On the Variation of Gravity at the Surface of the Earth“ in den Transactions of the Cambridge Philosophical Society. Vol. VIII (read April 23, 1849), sowie völlig unabhängig von ihm von Philipp Fischer in seinem Werke „Untersuchungen über die Gestalt der Erde.“ Darmstadt 1868. Eine schöne Bestätigung dieser Anschauungen lieferten neuerdings die in Verbindung mit der indischen Gradmessung ausgeführten Pendelbeobachtungen: Account of the operations of the great trigonometrical Survey of India. Vol. V (the pendulum operations). Calcutta 1879.

sehr gut rechtfertigen lassen. Besonders auffallend ist es, dafs oceanische Inseln, fern ab von den Kontinenten, die stärkste Vermehrung der Schwerkraft zeigen. Steigt nämlich der Meeresspiegel infolge der Anziehung der Festlandsmassen an den Küsten über den mathematischen Meeresspiegel hinauf, so werden solche Küstenpunkte von dem Centrum der Erde weiter entfernt sein, folglich eine relative Schwächung der Schwerkraft verraten. Mitten im Weltmeer gelegene Inseln hingegen werden infolge ihrer geringen Masse den physischen Meeresspiegel nur schwach zu heben vermögen; folglich befindet man sich an ihren Küsten dem Erdmittelpunkte relativ näher, und die Schwerkraft ist dort beträchtlicher als an den Festlandsrändern. Es kommen somit die auf das Meeresniveau gestützten Messungen nicht auf ein regelmäfsiges Ellipsoid zu liegen, und daraus dürfte es sich wohl erklären, dafs die Meeresfläche in der Mitte der Oceane unter das Niveau des Ellipsoids herabgedrückt erscheint (so auf den Bonin-Inseln im westlichen Pacific zwischen Neu-Guinea und Japan um 1309 Meter, bei St. Helena um 847 Meter) [1]), während an den Rändern grosser Kontinente das Gegenteil wahrgenommen wird (auf Maranham, einer kleinen Küsteninsel des nordbrasilianischen Litorals, zeigt das Meer eine Erhebung von 567 Meter über das Rotationsellipsoid) [2]). Beobachtungen auf Trinidad, in Para, Bahia, Rio de Janeiro, Montevideo, an der pacifischen Küste in Valparaiso (Chile) und San Blas (Mexico) deuten darauf hin, dafs der Spiegel des Caribischen Meeres, sowie der offene Atlantische und Grofse Ocean an den Gestaden Amerikas etwa ein halbes Kilometer über die der Erde im ganzen zukommende regelmäfsige Sphäroidfläche emporragen. Hierin ist aber unleugbar der erhöhende Einflufs der amerikanischen Kontinentalmassen mit ihrem bedeutenden Andenrelief zu erkennen. Ähnliche Wirkungen übt die gewaltige Masse des asiatischen Hochlandes aus, wie die Pendelbeobachtungen in Madras lehren [3]). Es ist daher nur durch Verbindung geodätischer Operationen (Triangulierung, trigonometrisches und geometrisches Nivellement) mit Schweremessungen durch das Pendel, also auf combiniert geometrischem und physikalischem Wege eine genaue Figurbestimmung der Erde möglich, wie dies neuerdings von Heinrich Bruns [4]) in gründlicher Weise dargelegt worden ist.

Da infolge Flufs- und Meereserosion, durch Sedimentablagerungen, sowie durch seculäre Hebungen und Senkungen die Verteilung der

[1]) J. B. Listing, l. c. S. 803.

[2]) l. c. S. 801.

[3]) l. c. S. 802.

[4]) Die Figur der Erde (Publikation des K. Preufs. geodätischen Institutes). Berlin 1878.

Massen auf der Erdoberfläche einem steten Wechsel unterworfen ist, so wird der Ocean künftig keineswegs in seinem gegenwärtigen Niveau verharren; es wird vielmehr stetig eine Änderung des Abstandes zwischen dem regelmäfsigen Erdsphäroid und dem wirklichen Geoid stattfinden. In eingehender mathematischer Entwicklung hat Zöppritz[1]) z. B. gezeigt, dafs das Nordpolarmeer, welches infolge der Geschlossenheit seiner Ränder fast alle die ihm zugeführten Flufssedimente bewahrt, an seinen Küsten um 1 Meter steigen würde, falls sich über den ganzen Grund desselben eine 11 Meter mächtige Sedimentschicht ausbreitete. Eine Ablagerung von 550 Meter Dicke würde eine Erhöhung des Meeresspiegels von 50 Metern hervorbringen, wodurch beträchtliche Strecken der flachen Küstenländer unter Wasser kämen. Eine Strandbildung von 30 geogr. Meilen Breite und 100 Meter Dicke würde an der Eismeerküste eine Erhöhung des Meeresspiegels von 2,4 Metern veranlassen. Für eine Breite von 75 Meilen und 200 Meter Dicke steigerte sich der Betrag der Niveauerhebung auf 9,4 Meter und würde bei gleicher Breite und 500 Meter Dicke sogar auf 15,1 Meter anwachsen, falls das Material dem 50. Breitengrade entnommen wäre. Es steigt nämlich der Meeresspiegel um so beträchtlicher, je tiefer aus dem Innern der Festländer das Material der Sedimente stammt, während derselbe nahezu unverändert bleibt, wenn das Material dicht an der Küste entnommen wird. Ergiefsen sich demnach an einer Flachküste mehrere schlammführende Ströme in ein ruhiges Meer, in welchem keinerlei Meeresbewegungen die Ablagerung der herabgetragenen Sinkstoffe verhindern, so entsteht eine Flachsee nicht allein durch die Anhäufung von Schwemmprodukten, sondern auch durch fortschreitende Schwellung der See und Überschwemmung des Küstensaumes.

Auf den Stand des Meeresspiegels wirken jedoch aufser den durch das Wasser hervorgerufenen Massenversetzungen auch alle anderen eintretenden Verschiebungen, also auch die Hebungen und Senkungen einzelner Schollen der Erdrinde. Jeder aufsteigende Länderraum zieht den ihn umgebenden Meeresrand ein Stück mit empor; jeder sinkende drückt ihn mit hinab. So berechnet Zöppritz[2]), dafs an der Westküste Amerikas auf je 10 Meter Hebung oder Senkung des Kontinents der Meeresspiegel um 3,3 Meter, also um ein Drittel dieser Bewegung folgen würde. Eine alte Strandlinie, welche 200 Meter über dem gegenwärtigen Seespiegel liegt, wäre ein Zeugnis dafür, dafs sich jenes Festland um 300 Meter gehoben hätte. Für Punkte in höheren Breiten würde der Bruchteil kleiner als ein Drittel sein.

[1]) Wiedemanns Annalen. Bd. XI (1880), S. 1022 ff.
[2]) l. c. S. 1032 ff.

Die Abplattung der Erde läfst sich aufser durch direkte Messung und Pendelbeobachtungen noch auf einem dritten Wege berechnen: aus der Mondbewegung, d. h. aus den Ungleichheiten in der Länge und Breite des Mondes. Einen hohen Reiz besitzt dieses Verfahren insofern, als der Astronom hierbei, ohne seine Sternwarte zu verlassen, in den Bahnen eines Himmelskörpers die individuelle Gestalt der Erde, seines Wohnsitzes, erkennt, da jene Bahnen gewissermafsen die Form unseres Planeten reflektieren.

Hätte die Erde die reine Kugelgestalt, so würde sie in jeder Lage (bei gleicher Entfernung) auf den Mond dieselbe Anziehung ausüben. Da sich jedoch am Äquator ein Massenüberschufs vorfindet, so mufs dort zugleich auch ein Anziehungsüberschufs vorhanden sein, dessen Wirkung natürlich dahin gerichtet ist, den Mond mehr in die Ebene des Erdäquators herabzuziehen, als dies ohne den Äquatorialwulst der Fall sein würde. Es erleidet demnach der Mond in seinem Umlauf gewisse Störungen, denen er entginge, wenn die Erde eine reine Kugel wäre. Laplace stellte nun eine Formel auf, welche die Richtung und die Gröfse dieser Abweichungen in den Mondbewegungen für verschiedene Werte der Abplattung der Erde zu berechnen gestattet. Hierauf ward der Mond befragt; die Störungen wurden aufgefunden, und die Kunst der berechnenden Astronomie führte zu dem hohen Triumph, dafs Laplace aus jenen Unregelmäfsigkeiten der Mondbewegung die Abplattung der Erde zu bestimmen vermochte. Er fand vermittelst dieser seiner Lunar-Methode eine Abplattung von $^1/_{306}$: ein Resultat, welches sich den Ergebnissen der geodätischen Messungen beträchtlich nähert[1]). Ist dasselbe auch minder genau als das durch geodätische Messungen und Pendelbeobachtungen erlangte, so ist es uns doch als Denkmal aufserordentlichen Scharfsinnes von ungleich höherem Werte.

Wir sahen, dafs die Gradmessungen seit Richers Entdeckungen eine ganz neue Aufgabe erhielten: nämlich nicht blofs die Ermittelung der Gröfse, sondern auch der Gestalt unseres Planeten. Der französische Nationalconvent (1792—1795) stellte noch eine andere Anforderung an sie. Könnten wir nämlich jemals genau die Gröfse der Erde bestimmen, so würde uns ihr Umfang oder ihr Durchmesser für den bürgerlichen Verkehr eine Mafseinheit gewähren, die so unveränderlich wäre, dafs sie, hundertmal verloren, nach Tausenden und hundert Tausenden von Jahren immer genau wieder aufgefunden werden könnte. Das souveräne Volk in Frankreich erteilte den Befehl zu einer neuen (also dritten) Messung eines Erdbogens in Frankreich;

[1]) Laplace, Traité de Mécanique céleste. Livre VII, Introd. Oeuvres. Paris 1844. Tome III, p. 200.

aus diesem sollte die Gröfse eines Erdquadranten, d. h. eines Kreisviertels vom Äquator nach einem der Pole, berechnet, diese Länge durch 10000000 dividiert und der Quotient als die unerschütterliche Mafseinheit unter dem Namen Meter eingeführt werden. Jene dritte Gradmessung wurde unter Bordas Leitung von Méchain und Delambre im Jahre 1792 begonnen, aber erst unter dem Kaiserreich, nämlich 1806 bis 1808 von Biot und Arago bis Iviza und Formentera fortgeführt und vollendet, so dafs nun ein Meridianbogen von vollen 12° 22′ 13″ vorlag. Schon vor Beendigung dieser Gradmessung (am 22. Juni 1799) war die Länge des Meters gesetzlich auf 443,296 Par. Linien der sog. Toise von Peru in der Temperatur von 16,25 Grad der hundertteiligen Skala normiert worden.

Dieses Mafs erschien damals als ein von den Dimensionen des Erdkörpers entnommenes Naturmafs. In der That war man ja auch bei jener Messung mit der gröfsten Sorgfalt zu Werke gegangen. Während man früher mit hölzernen Mefsstangen oder stählernen Ketten mafs, führten jetzt die Franzosen ein neues sinnreiches Werkzeug ein: nämlich zwei über einander liegende Lineale, von denen das eine aus Platin, das andere aus Kupfer bestand. Da beide Metalle von der Wärme in verschiedenen Verhältnissen ausgedehnt werden, so konnte man aus den Längenunterschieden beider jeden Augenblick die ursprüngliche Länge des Platinlineals unter dem Mikroskop mit Sicherheit bis auf $^1/_{400\,000}$ Toise bestimmen [1]. Obgleich sich nun die Schärfe der Instrumente bei der Messung der Standlinie aufserordentlich vervollkommnet hatte, so blieben doch mehrere kleine Irrungen nicht ausgeschlossen. Bessels sorgfältige Prüfung hat zu dem Ergebnis geführt, dafs der Erdquadrant der französischen Geodäten um 856 Meter und ihre Mafseinheit um nahezu $^1/_{11}$ Millimeter zu kurz ist, mit anderen Worten, dafs 10000856 Meter des französischen Mafses erst 10000000 idealen Metern entsprechen würden. Die Vorzüge des metrischen Systems bestehen also einzig und allein in seiner Decimalteilung, während seine physische Gröfse etwas ebenso Willkürliches ist als irgend welches Fufs- oder Ellenmafs.

Vermochten die Gradmessungen in früheren Jahrhunderten zwar die Abplattung der Erde an den Polen zu bestätigen, so gestatteten sie jedoch nicht, den Abplattungsbetrag auch nur annähernd genau zu bestimmen. Den Astronomen unseres Jahrhunderts blieb es vorbehalten, mit Hilfe schärferer Instrumente und verbesserter Methoden denselben mit gröfserer Genauigkeit durch geodätisch-astronomische Arbeiten zu ermitteln. Wir führen in dem folgenden die wichtigsten

[1]) O. Peschel, l. c. S. 661 f.

der bisher gemessenen Meridianbogen an, wobei wir insbesondere alle diejenigen weglassen, die später wegen nachgewiesener beträchtlicher Fehler als unbrauchbar erkannt worden sind.

A. Die von Bessel zur Bestimmung der Erddimensionen benützten zehn Gradmessungen:

Endstationen	Beobachtete Polhöhen	Gemessene Länge des Bogens	Beobachter
1) Peruanische Gradmessung.			
	° ′ ″	Toisen	
Tarqui	— 3 4 32,068[1]		Bouguer, Lacondamine,
Cotchesqui	+ 0 2 31,387	176875,50	Godin, Ulloa. 1735—1744.
2) Erste ostindische Gradmessung.			
Trivandeporum...	+ 11 44 52,590		Major Lambton.
Paudree	+ 13 19 49,018	89813,01	1802—1805.
3) Zweite ostindische Gradmessung.			
Punnae	+ 8 9 31,132		Lambton und Everest.
Kullianpoor	+ 24 7 11,860	906171,67	1802—1843.
4) Französische Gradmessung[2].			
Formentera	+ 38 39 56,11		Méchain, Delambre, Biot
Dünkirchen	+ 51 2 8,85	705257,21	und Arago. 1792—1808.
5) Englische Gradmessung.			
Dunnose	+ 50 37 7,633		Roy, Mudge.
Clifton...........	+ 53 27 31,130	162075,93	1800—1802.
6) Hannoversche Gradmessung.			
Göttingen........	+ 51 31 47,85		Gaufs.
Altona	+ 53 32 45,27	115163,725	1821—1824.
7) Dänische Gradmessung.			
Lauenburg.......	+ 53 22 17,046		Schumacher.
Lyssabel.........	+ 54 54 10,352	87436,538	1820—1823.
8) Preufsische Gradmessung.			
Trunz	+ 54 13 11,466		Bessel und Baeyer.
Memel............	+ 55 43 40,446	86176,975	1831—1834.
9) Russische Gradmessung.			
Belin............	+ 52 2 40,864		Struve, Tenner.
Hochland	+ 60 5 9,771	459363,008	1816—1827.
10) Schwedische Gradmessung.			
Malörn	+ 65 31 30,265		Svanberg und Ofverbom.
Pahtawara.......	+ 67 8 49,830	92777,981	1801—1803.

[1]) Das Minuszeichen deutet südliche Breite an.

[2]) Der französische Meridianbogen soll bis an den Nordrand der Sahara, also um 7 Grad verlängert werden; durch diese Operation würde der französisch-englische Gradbogen eine Länge von 29 Grad erhalten, also den russisch-skandinavischen Gradbogen noch um 4 Grad übertreffen.

B. Seit Bessels wichtiger Arbeit über die Abplattung des Erdkörpers wurden die unter 3, 5 und 9 genannten Gradbogen erweitert; ferner ist der des Kaplandes von besonderem Interesse, da er der erste und gröfste Bogen ist, welcher ausschliefslich der südlichen Halbkugel angehört. Wir fügen darum ergänzend hinzu:

Endstationen	Beobachtete Polhöhen	Gemessene Länge des Bogens	Beobachter
3) Zweite ostindische Gradmessung (erweitert).			
	° ′ ″	Toisen	
Punnae	+ 8 9 31,132		Lambton, Everest.
Kaliana	+ 29 30 48,5	1212866,6	(Vollendet 1847.)
5) Englische Gradmessung (erweitert).			
St. Agnes	+ 49 53 33,9		Roy, Mudge, Colby, Kater,
Saxavord	+ 60 49 38,6	624622,6	James. (Vollendet 1854.)
9) Russisch-skandinavische Gradmessung (erweitert).			
			Struve, Tenner, Oberg,
Staronekrassowka	+ 45 20 2,8		Melan, Selander, Woldsted,
Fuglenaes	+ 70 40 11,3	1447786,8	Hansteen, Lindhagen. (Vollendet 1851.)
11) Gradmessung am Kap der Guten Hoffnung.			
Kap d. G. Hoffnung	— 34 21 6,3		Maclear.
Nördl. Endpunkt .	— 29 44 17,7	262467,6	1842—1852.

Die Summe der angeführten Meridiangrade beträgt 85° 7′ (gegen 1280 geographische Meilen) und die Zahl der ihnen zugehörigen astronomisch bestimmten Punkte 51. Da 20 davon Endstationen sind (der englische Gradbogen wurde später mit dem französischen verbunden), so bleiben 31 Zwischenpunkte übrig; somit besitzen wir in jenen Breitengradmessungen 41 geodätisch ermittelte, mit astronomisch festgelegten Endpunkten versehene Gradbogen, deren durchschnittliche Gröfse 2 Grad um weniges überschreitet. Leider sind dieselben sehr ungleichmäfsig auf die Länderräume verteilt; denn es kommen weitaus die meisten auf Ost- und Westeuropa sowie auf Ostindien, nur sehr wenige hingegen auf Südafrika, Mitteleuropa und Peru.

Die bedeutendste Arbeit über die Gestalt und die Dimensionen des Erdkörpers hat noch vor Ablauf der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts Bessel geliefert. Nachdem er die von ihm in Ostpreufsen ausgeführte Gradmessung beendet hatte, unternahm er eine kritische Prüfung der älteren Messungen und entschied sich im Jahre 1837, zur Lösung seiner Aufgabe die zehn auf S. 173 näher bezeichneten Gradmessungen zu benützen [1]).

[1]) Astronomische Nachrichten. Bd. XIV (1837), Nr. 333, Sp. 345 ff.

Die Gesamtlänge der gemessenen Bogen betrug 50° 34′, die Zahl der astronomisch bestimmten Punkte 38. Er führte die Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate durch, und es ergab sich schliefslich für die Abplattung der Wert $^1/_{300,7047}$. Als Puissant einige Jahre später in der Berechnung der französischen Gradmessung einen Fehler von 68 Toisen nachwies, wiederholte Bessel mit Verbesserung dieses Fehlers die ganze Rechnung [1]). Den Äquatorialhalbmesser fand er = 3 272 077,14 Toisen (6 377 397,16 Meter oder 859,44 geogr. Meilen), die halbe Polarachse = 3 261 139,33 Toisen (6356 078,96 Meter oder 856,56 geogr. Meilen), die Differenz beider = 10937,81 Toisen (21 318,20 Meter oder 2,87 geogr. Meilen, d. h. das $2^1/_2$fache der Gaurisankar- oder das $4^1/_2$fache der Montblanc-Höhe) und die Abplattung = $^1/_{299,1528}$ mit einem wahrscheinlichen Fehler des Nenners von 3,148 Einheiten, so dafs die Abplattung noch schwanken kann zwischen $^1/_{302,301}$ und $^1/_{296,005}$.

Aufserordentlich auffallend ist es, dafs dieses Resultat mit dem von dem berühmten Astronomen Airy im Jahre 1830 ermittelten Werte ($^1/_{299,33}$) fast vollkommen übereinstimmt, obwohl beide Astronomen von ganz verschiedenartigen numerischen Grundlagen ausgingen und ebenso verschiedenartige Principien des Kalküls in Anwendung brachten. Man war daher berechtigt, jenen Wert als der Wahrheit sehr nahe kommend zu betrachten. Daher werden die Besselschen Dimensionen des Erdsphäroids fast allgemein bei astronomischen wie geodätischen Arbeiten zu Grunde gelegt, und Encke hat Tafeln darnach berechnet, in denen die Breitengrade, die Längengrade und die Meridianbogen vom Äquator bis zum Parallelkreis des Standpunktes von 10 zu 10 Minuten in Toisen angegeben sind. Encke äufserte bei Veröffentlichung der genannten Tafeln zuversichtlich: „Grofse Änderungen wird die Besselsche Bestimmung wohl auf keinen Fall mehr erfahren, und Tafeln, welche auf sie gegründet sind, werden noch für lange Zeit allen Anforderungen entsprechen“ [2]).

Indes ist durch neuere Berechnungen erwiesen, dafs jene Übereinstimmung nur ein Spiel des Zufalls ist und dafs man der Wahrheit wohl kaum so nahe steht, wie man ihr bereits vor ziemlich vierzig Jahren zu sein glaubte. Die Wandelbarkeit und Unsicherheit des für die Abplattung gefundenen Wertes, wie er unter Anwendung verschiedener Methoden und auf Grund verschiedenartiger Combinationen von Gradbogenmessungen festgestellt worden ist, tritt uns besonders

[1]) Astronomische Nachrichten. Bd. XIX (1842), Nr. 438, Sp. 97 ff.

[2]) Berliner astronomisches Jahrbuch für 1852, S. 322.

deutlich entgegen, wenn wir die Resultate einer Anzahl Rechnungen zum Vergleich zusammenstellen [1]).

Zeit	Autor	Nenner des den Abplattungswert ausdrückenden Bruches
1800	Delambre	334
1830	Airy	299,33
1841	Bessel	299,153
1856	Clarke	297,72
1858	James	291,86
1866	Clarke	294,979
1868	Fischer	288,50
1872	Listing	289,00
1878	Clarke	293,456

Ein Blick auf diese Ziffern zeigt, dafs man der Erde im Laufe dieses Jahrhunderts nach und nach eine immer stärkere Abplattung beimafs, und noch jetzt entbehrt die Feststellung dieses Wertes der nötigen Sicherheit und Genauigkeit. Ganz dasselbe gilt auch von der Gröfse der Erde. Wir dürfen kaum behaupten, den mittleren Halbmesser derselben bis auf den 7000sten Teil, d. h. bis auf 910 Meter genau zu kennen! Daraus geht hervor, dafs die Unsicherheit in unserer Kenntnis des Areals der Erdoberfläche sich zur Zeit noch auf den fünffachen Flächeninhalt der Insel Sicilien beläuft [2]).

Diese Unsicherheit würde weit geringer sein, wenn die Erde die Gestalt eines reinen Rotations-Ellipsoids besäfse. Indessen ist sie mit so viel Unregelmäfsigkeiten behaftet, dafs die Einfachheit der Rechnung gestört und die Richtigkeit derselben sehr in Frage gestellt wird, zumal die bisher über die Erde gezogenen Triangulationsnetze im Verhältnis zum Erdganzen nur aufserordentlich kleine Flächenräume bedecken. Dazu kommt, dafs bei einem Teile der älteren Gradmessungen eine so bedeutende Fehlerquelle, wie es die Lotablenkungen sind, nicht genügend gewürdigt wurde. Diese erstrecken sich oft, durch den Gegensatz zwischen Weltmeeren und Festländern hervorgerufen, über weite Länderräume und entziehen sich um so leichter der direkten Wahrnehmung, als sie sich in solchen Fällen meist nur langsam ändern. Insbesondere hat die grofse ostindische Gradmessung wegen Vernachlässigung der Lotablenkungen zweifellos zu grofse Gradlängen geliefert und so zur unrichtigen Erniedrigung des Abplattungswertes wesentlich

[1]) Nach J. B. Listing, Gestalt und Gröfse der Erde. S. 51 (mit Hinzufügung des neuesten Clarkeschen Wertes).

[2]) J. B. Listing, l. c. Nota zu S. 54.

beigetragen. Nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung dürften daher gleichmäfsig über die Erdoberfläche verteilte Pendelmessungen zweifellos einen der Wahrheit näher kommenden Wert für die Erdabplattung liefern als die bisherigen Gradmessungen.

Höchst auffallend ist es, dafs selbst die einzelnen Bogenstücke der englischen und französischen Gradmessungen Anomalien zeigten, was bei den hannoverschen und später bei den ostpreufsischen Messungen noch deutlicher hervortrat. So hat ein Grad des von Gaufs gemessenen hannoverschen Bogens, in seiner Mitte unter 52° 32′ 16,6″ n. Br. gelegen, eine Länge von 57126,4 Toisen, ein solcher des englischen Bogens unter einer mittleren Breite von 52° 35′ 45,0″ aber nur von 57075,0 T., obwohl der letztere als der vom Äquator entferntere dem Gesetze der Abplattung gemäfs gröfser sein sollte als der erstere. Ferner beträgt die Länge eines preufsischen Meridiangrades, im Mittel unter 54° 58′ 26,0″ n. Br., nach Bessels Messungen 57145,2 T., während W. Struve und Tenner für die Länge eines russischen Grades in 56° 3′ 55,5″ n. Br. nur 57137,0 T. fanden. Derartige Ergebnisse beweisen evident, dafs die Erde von der elliptischen Form örtlich abweicht. Man hat sich also einen Querschnitt durch die Erde von Pol zu Pol nicht als ein reines Ellipsoid zu denken, sondern die wahre Oberfläche wird stellenweise einen Hohlraum, stellenweise eine Wölbung längs der mathematischen Linie bilden.

Um die mannigfachen Unregelmäfsigkeiten der Gradlängen zu erklären, haben v. Schubert[1]) und A. R. Clarke[2]) die Erde als ein Ellipsoid von drei ungleichen Achsen darzustellen versucht. In diesem Falle hat man sich den Äquator nicht als einen Kreis, sondern als eine Ellipse zu denken, deren grofse und kleine Achse hinsichtlich ihrer Lage und Gröfse zu bestimmen sind. v. Schubert fand die Länge der halben Polarachse = 6356719,4 Meter; für die grofse Halbachse des Äquators erhielt er eine Länge von 6378555,6 Metern, für die kleine eine solche von 6377837,4 Metern. Nach v. Schuberts Bestimmungen gehört die grofse Äquatorialachse zu 58° 44′ ö. L. v. Ferro, die kleine zu 148° 44′ ö. L. v. F. Hiernach würde der

[1]) Mém. de l'Acad. de St.-Pétersbourg. Série VII, Tome I (1859), Nr. 6. Essai d'une détermination de la véritable figure de la terre.

[2]) On the Figure of the Earth, by Capt. A. R. Clarke, read 8. April 1860, in den Memoirs of the Royal Astronomical Society of London. Vol. XXIV (1861), p. 2 sq.; Comparisons of the Standarts of Length of England, France, Belgium, Prussia, India, Australia, by Capt. A. R. Clarke under the direction of Colonel Sir Henry James. London 1866. p. 281—287; Philosophical Magazine. Vol. VI (1878), p. 81 sq.

gröfste Meridiankreis Archangel, Erzerum, das südliche Ende des Roten Meeres und Mozambique, ferner den östlichen Teil des Territoriums Alaska berühren, während der kleinste, zur Länge 148° 44′ gehörig, Ostsibirien (das Lenadelta), die Mandschurei, das Japanische Meer und beinahe die Mitte von Neuholland, endlich Brasilien (die Mündung des Amazonas) und die Westküste von Grönland (bei Godhaab) durchschneiden würde. A. R. Clarke wiederholte dreimal (1861, 1866 und 1878) den Versuch, ein dreiachsiges Ellipsoid zu konstruieren, obwohl v. Schubert selbst bereits zwei Jahre nach Veröffentlichung seiner Berechnungen die Idee eines elliptischen Erdäquators wieder fallen liefs. Clarkes dritte Berechnung, welche ebenso wie seine beiden ersten ganz dem auf die Methode der kleinsten Quadrate gegründeten Verfahren entspricht, ergab folgende Werte: für die halbe Polarachse 6356388 Meter, für den gröfsten Radius des Äquators 6378380 Meter und für den kleinsten Radius des Äquators 6377915 Meter. Der gröfste Radius kommt nach Clarke auf 8° 15′ w. L. v. Greenwich zu liegen; der gröfste Meridiankreis geht somit durch Irland, Portugal, die westliche Sahara und trifft den Äquator im Busen von Guinea; auf der entgegengesetzten Halbkugel durchschneidet er das nordöstliche Asien und die südliche Insel von Neuseeland. Der kleinste Meridiankreis, 81° 45′ ö. L. v. Gr., führt von der Jenissei-Mündung nach Ceylon, also mitten durch Asien, und auf der anderen Erdhälfte durch die Mitte von Nordamerika.

Indes sind gegen die Annahme eines dreiachsigen Ellipsoids bereits verschiedene gewichtige Einwände geltend gemacht worden, so namentlich von Ph. Fischer in seiner vorzüglichen Schrift: „Untersuchungen über die Gestalt der Erde". Ganz abgesehen davon, dafs sich die Bildung eines dreiachsigen Ellipsoids von den besprochenen Achsenverhältnissen nicht mit der Entstehung der Erde aus einer flüssigen Masse in Einklang bringen läfst, ist vor allen Dingen darauf hinzuweisen, dafs wir zur Zeit noch keine genügende Anzahl zuverlässiger Gradmessungen in den verschiedensten Gebieten der Erde besitzen, um aus ihnen eine derartige Gestalt unseres Planeten mit einiger Sicherheit abzuleiten, was übrigens Clarke in seiner letzten Abhandlung über diesen Gegenstand selbst zugesteht. Ferner mögen die beobachteten Anomalien der Erdoberfläche — sofern dieselben nicht eine Folge von Messungsfehlern sind — nicht selten durch die oben bereits erwähnten Unregelmäfsigkeiten des Meeresspiegels, resp. durch aufser Acht gelassene Lotablenkungen hervorgerufen oder wenigstens vergröfsert werden. Wir müssen uns hierbei immer bewufst bleiben, dafs das Geoid, d. h. die unregelmäfsige oceanische Oberfläche, welche wir uns in einem Netze von Kanälen in Gedanken über die

ganze Erde erweitert denken können, sich nicht unbeträchtlich von dem Sphäroid unterscheidet, d. h. von demjenigen Körper, welcher, durch einen einfachen mathematischen Ausdruck darstellbar, in Form und Gröfse sich möglichst eng an das Geoid anschliefst, aber von diesem bald überragt, bald nicht ganz erreicht wird [1]). Die genaue Messung des Geoids, sowie der geoidischen Erhöhungen über und der Vertiefungen unter die Sphäroidfläche ist jetzt eines der Hauptziele der Geodäsie: ein Ziel freilich, von dem wir gegenwärtig noch weit entfernt sind. Früher wählte man immer solche Gebiete für Bogenmessungen aus, auf welchen keine namhaften Abweichungen von der idealen geometrischen Figur zu befürchten waren. Von solchen unwillkommenen Abnormitäten wird in Zukunft nicht mehr die Rede sein; sie werden vielmehr wesentliche Dienste leisten zur Ausmittelung geoidischer Unregelmäfsigkeiten, wie zur Erforschung ihrer Ursachen. Ist ja, wie Listing mit vollem Rechte bemerkt [2]), das Sphäroid nicht das letzte Objekt der geometrischen Untersuchungen des Erdkörpers, sondern das Geoid mit seinen verwickelten Gestaltungen vorerst in allgemeinen Zügen und nachgehends bis in die lokalen Einzelheiten.

Um die Gröfse der Erde zu bestimmen, ist es nicht notwendig, Entfernungen längs eines Mittagskreises zu messen; es können vielmehr hierzu ebenso gut Stücke eines Parallelkreises gewählt werden. Hatte man aber schon grofse astronomische Schwierigkeiten zu überwinden, um die geographische Breite der Bogenendpunkte mit der nötigen Schärfe festzustellen, so war es vor Erfindung des elektrischen Telegraphen noch viel schwieriger, die geographischen Längen zweier Orte mit vertrauenswerter Schärfe zu ermitteln.

Eine Längengradmessung zerfällt ebenso wie eine Breitengradmessung in einen astronomischen und einen geodätischen Teil, von denen der letztere auch durch Triangulation erledigt wird. Dagegen beruht die astronomische Bestimmung eines Parallelkreisbogens auf ganz anderen Grundlagen als die Messung eines Meridiangrades, und diese neue Grundlage verdanken wir dem britischen Reichsastronomen Flamsteed (1646—1719), einem Zeitgenossen Newtons, welcher uns zuerst die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde als Winkelmafs benützen lehrte.

Da sich die Erde mit steter Gleichförmigkeit um ihre Achse dreht, so vollzieht auch der Sternenhimmel mit derselben Gleichförmigkeit seine scheinbare Bewegung um die ins Endlose verlängert gedachte

[1]) Vgl. J. B. Listing, Gestalt und Gröfse der Erde. Göttingen 1872. S. 55 ff.

[2]) l. c. S. 63.

Erdachse, welche dann zur Himmelsachse wird. Die Zeit einer wirklichen ganzen Umdrehung der Erde oder einer scheinbaren des Sternenhimmels, den sogenannten Sterntag, teilen astronomische Uhren, welche nach Sternzeit gehen (1 Sterntag = 23 Stunden 56 Minuten 4,09 Sekunden eines mittleren Sonnentages), in bekannter Weise in Stunden, Minuten und Sekunden ab, so dafs jedem Zeitteil ein bestimmter Drehungswinkel oder, da alle Winkel durch Bogen gemessen werden, ein bestimmter Bogen entspricht, z. B. einer Zeitsekunde 15 Bogensekunden u. s. w. In diesem Sinne ist die Uhr ein Mefsinstrument der Sternwarten geworden. Selbstverständlich giebt sie für sich allein keinen Winkel an, sondern nur in Verbindung mit einem in der Meridianebene drehbaren Fernrohre, dem Passagen-Instrument, welches den Augenblick bezeichnet, in welchem irgend ein Stern den Meridian des Beobachtungsortes passiert. Stellt man auf zwei Punkten eines Parallelkreises der Erde je ein solches Instrument, sowie Uhren von grofser Genauigkeit auf, welche beide für e i n e n Ort reguliert sind, und notiert daselbst die Zeiten, in denen ein und derselbe Stern durch das Passagen-Instrument hindurchgeht, so ergiebt sich aus dem Zeitunterschied sofort der Winkel, welchen die Meridianebenen der Beobachtungsorte an der Erdachse mit einander bilden; denn einer Zeitsekunde entsprechen, wie oben erwähnt, 15 Bogensekunden. Ist auf diese Weise der Winkel und geodätisch der dazu gehörige Bogen gemessen, so erhält man die Länge eines Grades des betreffenden Parallelkreises, indem man die Länge des Bogens durch die Anzahl der gefundenen Grade dividiert. Es ist klar, dafs sich die Gröfse der Parallelkreise vom Äquator aus nach Nord und Süd beständig vermindert, und zwar ändern sich deren Halbmesser entsprechend dem Cosinus der geographischen Breite.

Die Zeitdifferenz erlangt man ebenso leicht auf folgende Weise. Man stellt zunächst die wahre Zeit für die Orte an den beiden Endpunkten des Bogens fest, was durchaus keine Schwierigkeiten bietet. Hat man z. B. die Höhe des oberen Sonnenrandes zu einer bestimmten Zeit des Vormittags gemessen und am Nachmittag den Moment notiert, in welchem sich der obere Sonnenrand genau in derselben Höhe befand, so ist das arithmetische Mittel beider Zeiten die wahre Mittagszeit des Ortes, d. h. die Zeit, in welcher die Sonne den Meridian passiert. Wenn diese Beobachtungen an beiden Orten ausgeführt sind und die Uhren genau die ihnen zukommende örtliche Zeit zeigen, dann werden sie mit einander verglichen, und man erhält so den gesuchten Zeit- und Längenunterschied.

Es giebt offenbar keine einfacheren und selbst auf weiten Reisen leichter zu handhabenden Instrumente für Längenbestimmungen als

tragbare, möglichst gleichmäſsig gehende Uhren, Chronometer, weshalb sie auch von den Seefahrern vorzugsweise hierzu benutzt werden. Indes hat dieses Verfahren auch seinen dunklen Punkt: es sind dies die auf langen Reisen durch Erschütterungen, Wechsel der Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse u. s. w. herbeigeführten Unregelmäſsigkeiten im Gange der Chronometer. Obwohl nicht zu verkennen ist, daſs die Kunst in der Herstellung genau gehender Chronometer Glänzendes leistet, so ist es doch — selbst bei gleichzeitigem Gebrauch einer Anzahl dieser Instrumente — nicht möglich, auf diesem Wege Resultate zu erlangen, welche für geographische Längenbestimmungen genügen.

Eine andere Methode der Längenbestimmung, welche unabhängig ist von dem Gange der Uhr, besteht darin, daſs man zwischen den Orten, deren Längenunterschied gemessen werden soll, ein von beiden aus sichtbares Signal giebt, indem man vielleicht eine kleine Menge Pulver anzündet oder eine Rakete aufsteigen läſst. Die beiden Beobachter, deren Uhren ihrem Standpunkte gemäſs astronomisch reguliert sind, notieren sofort die Zeit, in welcher sie das Signal bemerkten, und eine Vergleichung ergiebt den Zeit- und Längenunterschied beider Orte. Man spricht dann von „Längenbestimmungen durch Pulversignale“. Schon Cassini de Thury und Lacaille bedienten sich 1740 der Pulversignale, um einen Perpendikel auf dem Meridian von Paris zu messen [1]).

Liegen die zu fixierenden Punkte nahe bei einander und auf dem Festlande, so ist dieses Verfahren leicht auszuführen; bei weiter entfernten und wohl gar durch Meere von einander getrennten Orten hingegen ist dies aus nahe liegenden Gründen unmöglich. In diesem Falle benützte man — und zwar schon im Altertume [2]) — als Signale gewisse Erscheinungen am Himmel, welche auf einer ganzen Erdhälfte in demselben Augenblick beobachtet werden können: Verfinsterungen des Mondes und späterhin (nach Erfindung des Fernrohres) die sehr häufig eintretenden Verfinsterungen der Jupitertrabanten. Man verzeichnete genau den Eintritt derselben an zwei verschiedenen Stationen und verglich hierauf die beiden, für jeden Punkt astronomisch bestimmten Uhrzeiten, um aus der Differenz derselben die Längenunterschiede der beiden Orte zu berechnen.

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV. S. 23.

[2]) So hat Ptolemäus aus einer Mondfinsternis des Jahres 331 v. Chr., welche bei Arbela um die fünfte, in Carthago um die zweite Stunde der Nacht beobachtet worden war, den Längenunterschied beider Orte berechnet. Peschel, l. c. S. 48.

Aber auch der nicht verfinsterte Mond gewährt uns durch seine Bewegung am Sternenhimmel ein Mittel zu Längenbestimmungen. Er vollendet in der Richtung von West nach Ost in c. $27^1/_3$ Tagen einen Weg um den ganzen gestirnten Himmel; er rückt somit täglich mehr als 13° unter den Sternen des Tierkreises nach Osten vor, also stündlich mehr als 32,5'. Der Mond ist demnach, um ein bekanntes Gleichnis Sir John Herschels zu gebrauchen, ein Zeiger, welcher an dem durch die Sterne mit Stunden- und Minutenstrichen versehenen Zifferblatte des Himmels rastlos vorwärts schreitet und zwar scheinbar gleichförmig, in Wirklichkeit aber nach sehr komplizierten Gesetzen. Man berechnet nun nach der Zeit einer Sternwarte auf etliche Jahre voraus, an welcher Stelle unter den Gestirnen der Mond von drei zu drei Stunden gesehen werden mufs, und so kann ein Beobachter an irgend welchem Orte der Erde stets durch Messung der Entfernungen des Mondes von den betreffenden Himmelskörpern ermitteln, wie viel Uhr es während seiner Beobachtung auf derjenigen Sternwarte ist, deren Almanach er benützt. Hieraus ergiebt sich der Zeit- und somit auch der Längenunterschied beider Orte. Noch ist hierbei zu beachten, dafs der Mond im Vergleich zu den Fixsternen der Erde aufserordentlich nahe ist, nahe Punkte aber auf weit entferntem Hintergrunde schon bei geringer Ortsveränderung des Beobachters sich bedeutend verschieben. Es ist daher noch zu berechnen, welche Stellung der Mond, vom Mittelpunkt der Erde aus betrachtet, einnehmen würde, was mit keinerlei Schwierigkeiten verbunden ist, da die Entfernung des Mondes von der Erde bekannt ist. Die ersten zum Zwecke genauerer Längenbestimmungen brauchbaren Mondtafeln lieferte Tobias Mayer, ein Landsmann Keplers, im Jahre 1753; in neuerer Zeit wurden sie bedeutend vervollkommnet durch den Astronomen Hansen in Gotha.

Während man mit Hilfe der genannten Methoden selbst bei der sorgfältigsten Ausführung kaum Teile von Zeitsekunden genau zu bestimmen vermag, bietet die elektro-magnetische Telegraphie ein Mittel dar, noch bis auf Hundertel einer Sekunde (etwa 0,02 Sek. in Zeit oder 0,3 Sek. in Bogen) einen Längenunterschied festzusetzen. Käme ein durch den Telegraphen gegebenes Zeichen augenblicklich an seinem Ziele an, so brauchte man einfach nur die Ortszeit zu telegraphieren, und die Zeitdifferenz wäre gefunden. Allein dem ist nicht so; denn nicht blofs ist die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes keine unendlich grofse, sondern es verstreichen auch einige Momente, bis der Elektromagnet sich wirksam erweist und den Anker anzieht, um das nötige Signal zum Ausdruck zu bringen. Da sich diese Zeit nicht direkt feststellen läfst, so galt es, die Ermittelung derselben überflüssig

zu machen. Man erreicht dies auf folgende Weise. Man telegraphiert nicht blofs von dem Orte A nach B, sondern auch wieder rückwärts von B nach A. Liegt A östlich von B, so ist die von ihm telegraphierte Zeit etwas voraus gegen die von B. Da nun der elektrische Strom seine Arbeit nicht momentan verrichtet, so ist der Unterschied der von A aus signalisierten Zeit und der Zeit des Ortes B, wohin telegraphiert wurde, um die Zeitdauer der Übertragung kleiner als der wirkliche Zeitunterschied beider Orte. Nun wird von B aus zurücktelegraphiert. Die signalisierte Zeit ist zurück gegen die des Ortes A, und da das Zeichen hier etwas später anlangt, als es gegeben wurde, so wird hierdurch der Unterschied der signalisierten Zeit und der des Ortes A um die Zeitdauer der Übertragung gröfser als der wirkliche Zeitunterschied beider Orte. Ist nun der eine Zeitunterschied um ebenso viel zu klein, als der andere zu grofs ist, so giebt uns das arithmetische Mittel beider den wahren Zeitunterschied an. Überdies sind auch diese Messungen mit einem allerdings kleinen Fehler behaftet. Wenn nämlich zwei Personen denselben Schall hören oder denselben Gegenstand sehen, so kommen ihnen doch die gegebenen sinnlichen Reize nicht gleichzeitig zum Bewufstsein, selbst dann nicht, wenn die Schallquelle oder das vom Auge wahrgenommene Objekt gleichweit von beiden entfernt ist. Will man darum den höchsten Grad von Genauigkeit in den Resultaten erreichen, so ist es notwendig, dafs die Beobachter in A und B ihre Plätze gegenseitig vertauschen.

Da die mit Hilfe der Telegraphie ermittelten Längenbestimmungen an Wert die anderen bedeutend übertreffen, so wird diese Methode jetzt überall, wohin telegraphische Leitung führt, in Anwendung gebracht, während hier die optischen Signale (z. B. Pulverblitze oder Blickfeuer), sowie Zeitübertragungen durch Chronometer ausgeschlossen werden, weil diese Hilfsmittel keine hinreichend korrekten Resultate liefern.

Die erste Längengradmessung wurde in den Jahren 1733 und 1734 von Cassini de Thury und Maraldi auf dem Parallel von Paris ausgeführt. Von wissenschaftlicher Bedeutung aber war erst die von 1811 bis 1825 in der Nähe des 45. Parallelkreises von Brousseaud, Largeteau, Plana und Carlini vorgenommene Messung, welche von Marennes (an der Girondemündung) durch Frankreich über Turin und Mailand bis nach Fiume reicht. Sie umfafst einen Bogen von 15° 32′ 27″. Die ausgedehnteste Längengradmessung ist die russisch-mitteleuropäische. Sie wurde im Jahre 1857 nach Wilh. Struves Plan begonnen und erstreckt sich unter dem 52. Grad n. Br. von Valentia (Westküste Irlands) bis Orsk (Gouv. Orenburg), also

über 69 Längengrade. Erst im Jahre 1872 erfolgte die Beendigung. Die grofsartigste und umfassendste aller dieser Arbeiten wird einst die von dem preufsischen General Baeyer im Jahre 1861 angeregte „mitteleuropäische Gradmessung“ sein, welche infolge des Beitritts sämtlicher europäischer Staaten (Griechenland und die Türkei ausgenommen) bald zu einer europäischen wurde. Sind nun auch schon umfangreiche Triangulationen und Nivellements vorgenommen worden, so ist doch bei dem grofsen Umfang des Unternehmens und der Sorgfalt der Ausführung seine Beendigung in weite Ferne gerückt.

II. Lokalattraktion und Dichtigkeit der Erde.

In dem vorigen Abschnitt (S. 177) wurde bereits darauf hingewiesen, dafs die hannoversche und englische, sowie die preufsische und russische Meridiangradmessung zu Resultaten geführt haben, welche nicht im Einklang mit einander stehen. Geodätische Fehler von Bedeutung liegen hier sicher nicht vor; wir mufsten deshalb annehmen, dafs der Erdkörper keine rein sphäroidische Gestalt besitzt, sondern erhebliche Unregelmäfsigkeiten an sich trägt. Wahrscheinlich ist jedoch hierbei eine Fehlerquelle mit im Spiel, welche nicht immer genügend beachtet worden ist: die Ablenkung des Bleilotes von der Vertikalen.

Alle astronomischen Winkelmessungen an der Erdoberfläche beruhen nämlich auf dem guten Glauben, dafs das Lot senkrecht stehe auf dem Horizont des Beobachtungsortes oder dafs die Oberfläche des Quecksilbers in einer Schale oder die Luftblase in einer mit Wasser gefüllten Glasröhre aus ihrer normalen Lage nicht verrückt werde. Ohne Zweifel gilt dies immer, wenn die genannten Instrumente auf einer Ebene zur Anwendung gelangen, welche weithin aus gleichschweren Gesteinsschichten besteht. Erheben sich jedoch von dem Beobachter aus nach der einen Richtung hin mächtige Gebirge, so mufs notwendig das Bleilot gegen dieselben hingezogen werden. Ganz ähnliche Wirkungen ergeben sich, wenn sich von dem Punkte aus, an welchem jene Messungen stattfinden, unter der Erdoberfläche einseitig relativ schwere Felsmassen oder weite Hohlräume ausbreiten. Man spricht in solchen Fällen von einer Abweichung des Lotes infolge Lokalattraktion.

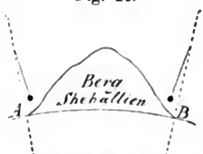
Schon Newton hatte eine solche Ablenkung des Lotes vorausgesehen; sie war ja eine notwendige Konsequenz seines Gravitationsgesetzes, welches sich auch in dieser Hinsicht später glänzend bewähren sollte. Aber erst Bouguer gelang es im Jahre 1738 durch seine an den Abhängen des Chimborazo angestellten Beobachtungen

und Messungen, eine Abweichung des Lotes aus der vertikalen Richtung thatsächlich nachzuweisen. Sie betrug hier $7^1/_2$''[1]).

Wie ist es nun möglich, eine so geringfügige Ablenkung des Lotes von der Vertikalen zu erkennen?

Bei astronomischen Messungen bestimmt man die Richtung der Horizontalen mit Hilfe der Wasserwage; somit liegt das Zenith stets in der Richtung des Bleilotes, und die Zenithdistanz eines Fixsternes ist demnach der Winkel, dessen Schenkel die Lotlinie und die Visierlinie nach dem Sterne sind. Beobachtet man nun die Zenithdistanz eines Fixsternes bei seiner Culmination an zwei auf demselben Erdmeridian gelegenen Orten A und B, so ergiebt sich aus dem Unterschied der beiden Zenithdistanzen der Winkel, den die beiden Lote in A und B mit einander bilden, oder — was dasselbe ist — der Unterschied der Polhöhe, also der geographischen Breite von A und B. Die so gemessene Amplitude (α) des Meridianbogens zwischen A und B mufs notwendig fehlerhaft werden, wenn die Anziehungskraft einer Bergmasse das Bleilot an einer der beiden Stationen oder wohl gar an beiden von der vertikalen Richtung ablenkt, weil die Zenithdistanzen dann zu grofs oder zu klein ausfallen. Ermittelt man nun die lineare Länge des Bogens zwischen A und B durch Triangulation, so kann man, da Gestalt und Gröfse der Erde bekannt sind, den wahren Breitenunterschied berechnen. Bezeichnen wir die so berechnete Amplitude des Bogens zwischen A und B mit β, so ist klar, dafs der Wert $\alpha - \beta$ der Summe der Lotablenkungen an beiden Stationen gleich ist.

Fig. 21.



Lotablenkung am Shehallien (Schottland).

Wir erläutern dies an dem folgenden bekannten Beispiel.

Maskelyne[2]), der in Gemeinschaft mit Hutton[3]) im Jahre 1774 am Nord- und Südabhange des Berges Shehallien (in Perthshire, nahe bei Blair Athol, 6 geogr. Meilen nw. von Perth) umfassende Untersuchungen anstellte, beobachtete bei dieser Gelegenheit, dafs die Bleilote zweier auf demselben Meridian gelegenen Orte A und B

[1]) Bouguer, Figure de la Terre. Paris 1749. p. 369 sq.

[2]) An Account of Observations made on the Mountain Shehallien for finding its Attraction in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. LXV (1775), p. 500—542.

[3]) An Account of the Calculations made from the Survey and Measures taken at Shehallien, in order to ascertain the Mean Density of the Earth in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. LXVIII (1778), p. 689—788.

(Fig. 21) einen Winkel von 54,6" mit einander bildeten; dieser Wert ergab sich aus den an beiden Stationen wiederholt gemessenen Zenithdistanzen von 43 Sternen. Da jene Orte jedoch nur 4364,4 e. Fufs (1330,25 Meter) von einander entfernt lagen und ein Meridianbogen von der Gröfse einer Bogensekunde unter 56° 40′ n. Br. eine Länge von 101,64 e. Fufs (30,7856 Meter) hat, so entspricht die Strecke von 4364,4 e. Fufs nur einem Bogen von 42,94", d. h. aus der geodätischen Messung folgt, dafs *A* 42,94" südlich von *B* liegt. Die lokale Abweichung beider Lote betrug somit 54,6" — 42,94" = 11,66". Die Lote waren also nicht gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet, sondern wurden durch den Einflufs des Berges in Summa um 11,66" von der Vertikalen abgelenkt.

In der Nähe von Gebirgen, besonders von Hochgebirgen erfährt das Bleilot gewöhnlich eine Störung seiner vertikalen Richtung. So bemerkt man in Genf eine Lotablenkung von 6,41", in Bern von 7,73", in Mittenwald von 11,44" und in Holzkirchen (ssö. von München) von 3,98" südlich, d. h. die beobachteten Polhöhen sind um den gleichen Betrag zu weit nach Norden gerückt. Mailand hingegen hat eine Lotablenkung von 12,83" nördlich; die astronomisch bestimmten Breiten erscheinen demnach hier nach Süden verschoben. Ferner erweist sich (nach einer geodätischen Abhandlung des k. russ. Oberst Stebnitzki „über die Ablenkung der Lotlinie durch den Kaukasus") die Attraktion des Kaukasus aufserordentlich wirksam. Kommt man von Nord her, so findet sich in einer Entfernung von ungefähr 20 geogr. Meilen bereits eine Lotablenkung von 10" (in Georgiewsk) bis 18,6" (in Petrowsk am Kaspischen Meer); bei weiterer Annäherung steigt sie rasch bis auf 35,8" (in Wladikawkas). Bringt man jedoch an diesen Punkten die aus der Anziehung des Kaukasus berechneten Korrektionen an, so verschwinden jene Differenzen bis auf kleine Gröfsen, welche als innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler liegend angesehen werden können. Dagegen verändern sich die Verhältnisse vollständig, wenn man den Kaukasus überschreitet. Der hart am Südfufse gelegene Ort Duschet zeigt noch eine Lotablenkung (18,3" nördlich), wie die Nähe des Kaukasus sie fordert. In Tiflis aber begegnet man nicht einer nördlichen Ablenkung, welche die Rechnung verlangt, sondern einer südlichen von 7,6", welche in Schemacha sogar bis zu 23,2" wächst. Hier ist also die Anziehungskraft des Kaukasus geringer als die von irgend einer anderen jenseits wirkenden Masse herrührende. Das Lot prallt gleichsam vom Gebirge ab, was darauf hindeutet, dafs die Dichtigkeit der Erdschichten in dem von dem Gebirge abgewandten Teile eine weit gröfsere ist als in dem ihm zugewandten. Vielleicht ist dies in dem

Höhlenreichtum jener vulkanischen Gegend begründet; in der That wird Schemacha oft von Erdbeben heimgesucht und mehr oder weniger verwüstet [1]). Im Harz wurden durch das k. preufsische geodätische Institut 17 meridionale Lotablenkungswerte bestimmt, unter denen der von Harzburg (13,5" südlich) der gröfste ist. Auch hier erkennt man deutlich die Abhängigkeit derselben vom Gebirgsbau, indem die Linie ohne Ablenkung nahezu mit den beiden Haupthebungsachsen des Gebirges zusammenfällt, während an den Flanken der schwereren Gesteine (besonders der Diorite in den Massiven des Brockens und des Rammberges) die gröfste Ablenkung auftritt [2]). Am Südfufse des Fränkischen Jura erfährt das Lot bei Ingolstadt eine lokale Anziehung von 4,62" nordwärts, am Nordfufse bei Wülzburg hingegen eine solche von 1,43" südwärts.

Obwohl, wie in dem vorhergehenden gezeigt worden ist, in den Anden, den Grampians, den Alpen und im Kaukasus, sowie in mehreren deutschen Mittelgebirgen ansehnliche Abweichungen des Lotes von der Vertikalen beobachtet worden sind, so entdeckten doch die an der indischen Gradmessung beteiligten Engländer mit grofser Überraschung, dafs die Lotlinie von den ungeheuren Bergmassen des Himalaya mit den dahinter liegenden mächtigen Plateauländern fast gar nicht abgelenkt wurde; denn die unter Zugrundelegung des Ellipsoides von Bessel und Airy (Abplattung $^1/_{299}$) berechneten Polhöhen stimmen bis auf ganz geringe Abweichungen mit den beobachteten überein [3]). Als Pendant hierzu erwähnen wir die Thatsache, dafs die Russen unweit Moskau, also mitten in der Ebene, eine plötzliche Ablenkung des Lotes von 12" fanden. Da an jener Stelle gerade eine geognostische Formation ihr Ende erreicht, so liegt die Vermutung nahe, dafs die verschiedene specifische Schwere der Felsarten die Ursache jener Ablenkung ist.

Das Lot erweist sich hier offenbar als ein geognostisches Senkblei. Auch erkennen wir nun, dafs an allen Küstenpunkten eine beträchtliche Lotablenkung stattfinden mufs, wenn der Meeresboden jäh zu ansehnlicher Tiefe hinabsinkt, da sie am Rande von Becken liegen, die mit specifisch leichteren Massen, nämlich mit Seewasser angefüllt sind. Endlich erhält die schon früher (S. 168 f.) geforderte Niveauerhöhung der Oceane an ihren continentalen Ufern auch hier ihre Bestätigung.

[1]) Bulletin de l'Acad. impér. d. Sc. de St.-Pétersbourg. Tome XV (1871), Sp. 239—243.

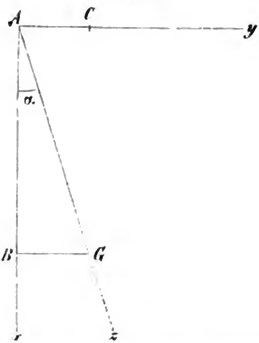
[2]) K. A. Lossen in den Mitteilungen d. Ges. naturforschender Freunde zu Berlin 1881, S. 19 ff.

[3]) Philipp Fischer berechnet jedoch, gestützt auf einen anderen Abplattungswert, für Kaliana, den nördlichen Endpunkt des ostindischen Bogens am Himalaya, eine Lotablenkung von 35".

Bedeutungsvoll ist die Ablenkung des Lotes durch Bergmassen insofern geworden, als sie uns ein Mittel an die Hand gegeben hat, das specifische Gewicht des Erdkörpers zu bestimmen. Der erste Versuch dieser Art wurde von Maskelyne und Hutton in den Jahren 1774 bis 1776 unternommen; er knüpft sich an den hierdurch denkwürdig gewordenen Berg Shehallien in Perthshire (vgl. S. 186 f.).

Wie ist eine derartige Berechnung auszuführen? Die Erde übt auf jeden materiellen Punkt eine Anziehung aus, ebenso aber auch jeder andere Körper. Die Kräfte, mit welchen ein materieller Punkt P einesteils von der Erde, andernteils von irgend einem anderen Körper, z. B. einer Bergmasse, angezogen wird, verhalten sich (nach den bekannten Gesetzen der Gravitation) direkt wie die Massen und umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen des Punktes P von dem Schwerpunkt der Erde und demjenigen des betreffenden Körpers. Bezeichnen wir nun mit M die Erdmasse, mit m die Masse des Körpers, welcher die lokale Ablenkung des Lotes verursacht, mit R und r die Entfernungen ihrer Schwerpunkte (d. i. des Erdmittelpunktes und des Schwerpunktes der Bergmasse) vom Lote, mit AB (Fig. 22) die Gröfse und Richtung der Anziehung der Erdmasse M in dem Abstande R (Erdhalbmesser) und mit AC die Gröfse und Richtung der Anziehung der Bergmasse m in dem Abstande r, so ist die resultierende Gröfse und Richtung der Anziehung gleich AG und α der Ablenkungswinkel des Lotes. Nennen wir die Wirkungen der beiderseitigen Anziehung E und e, so verhält sich

Fig. 22.



Lotablenkung zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde.

$$E : e = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2} = AB : BG = 1 : \frac{BG}{AB} = 1 : tang.\ \alpha.$$

Da nun die Erdmasse M gleich ist dem Produkt ihres Volumens $\frac{4}{3} R^3 \pi$ und ihrer Dichte D, so setzt man diese Gröfse für M in die obige Proportion und findet

$$D = \frac{3}{4} \frac{m}{R \pi r^2} \cdot \frac{1}{tang.\ \alpha.}$$

Der Ablenkungswinkel α des Lotes am Shehallien betrug nach Maskelyne 11,66″. Die Feststellung des Wertes m, der Masse des Berges, erforderte eine sorgfältige Untersuchung seiner Gröfse und Gestalt (zur Berechnung des Volumens v), sowie seiner Dichtigkeit g; denn die Masse m ist gleich dem Produkt von v und g. Endlich mufste auch die Lage des Schwerpunktes der Bergmasse aufgesucht werden zur Berechnung von r, der Entfernung desselben vom Lote. Aus diesen Arbeiten ergab sich für die mittlere Dichtigkeit der Erde nach den von Ed. Schmidt vorgenommenen Korrektionen der Wert 4,713; demnach wäre unser Planet 4,713mal so schwer als eine gleich grofse Kugel Wasser. So trefflich jedoch auch die hier angewandte Methode ist, so dürften die auf diese Weise gewonnenen Resultate doch wohl nie Anspruch auf einen hohen Grad von Genauigkeit erheben, da es aufserordentlich schwierig ist, Volumen, Dichtigkeit und Schwerpunkt einer Gebirgsmasse auch nur annähernd exakt zu bestimmen. Insbesondere war dies bei dem Shehallien unmöglich, weil derselbe aus vier verschiedenen Gesteinsarten, nämlich aus Quarzit, Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer und Kalkstein besteht, deren Lagerungsverhältnisse noch dazu durchaus regellos sind.

Die Dichtigkeit der Erde läfst sich auch durch Pendelschwingungen auf hohen Bergen sowie in tiefen Schächten feststellen.

Je weiter wir uns mit dem Pendel über die Erdoberfläche erheben, um so langsamer schwingt dasselbe; denn die Schwerkraft, welche die Oscillationen des Pendels hervorruft, verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung vom Erdmittelpunkte. Ein im Luftballon in die Höhe getragenes Pendel wird daher in einer gewissen Zeit weniger Schwingungen machen als ein auf der Erdoberfläche sich befindendes in gleichem Zeitraume. Die Verzögerung der Pendelbewegung in der Höhe oder die Zahl, um welche die an der unteren Station in einer bestimmten Zeit absolvierte Anzahl von Schwingungen vermindert werden mufs, läfst sich überdies ganz unabhängig von direkten Beobachtungen genau berechnen.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse, wenn die höhere Station kein isolierter Standpunkt, sondern der Gipfel eines Berges ist, weil dann die Masse des Berges den Gang des Pendels beeinflufst und zwar beschleunigt, also die Anzahl der Schwingungen in einer gewissen Zeit wieder vergröfsert. Vergleicht man nun die auf dem Berge beobachtete Anzahl der Schwingungen mit der für die gleiche Höhe berechnete Zahl derselben, so ergiebt sich ein Überschufs, welcher offenbar durch die Masse des Berges hervorgerufen ist. Auf diese Weise lernen wir das Verhältnis derselben zu der Masse der ganzen Erde kennen. Ist nun das Volumen des Berges und die mittlere

Dichtigkeit seines Gesteins, also seine Gesamtmasse festgestellt, so läfst sich aus dieser und aus der Differenz zwischen der beobachteten und berechneten Abnahme der Schwere, wie sie aus den Pendelbeobachtungen abgeleitet wurde, die mittlere Dichtigkeit der Erde bestimmen.

Carlini fand im Jahre 1824 durch Pendelschwingungen auf dem Mt. Cenis die Dichtigkeit der Erde = 4,39. Doch ist dieser Wert infolge eines Rechnungsfehlers viel zu klein ausgefallen; er ist nach Ed. Schmidt[1]) auf 4,837 zu erhöhen. Eine gleiche Untersuchung, vorgenommen von T. C. Mendenhall[2]) auf dem Gipfel des Fuji-no-yama und zu Tokio (Japan), lieferte den der Wahrheit weit näher kommenden Wert 5,77 für die mittlere Dichte der Erde.

Dafs auch diese Methode nur zu annähernd richtigen Werten führt, läfst sich leicht ermessen, da hinsichtlich der Gestalt und Dichte des Berges die Ergebnisse stets mehr oder weniger unsicher sind.

Wie durch Pendelbeobachtungen auf Höhen, so läfst sich auch durch solche im Grunde tiefer Schächte die obige Aufgabe lösen.

Diese Methode beruht im wesentlichen auf dem Gesetze, dafs ein materieller Punkt, welcher sich innerhalb einer sphärischen Körpermasse befindet, nur von denjenigen Teilen der Kugel angezogen wird, welche innerhalb der durch ihn selbst gehenden Kugelfläche enthalten sind, während die aufserhalb derselben gelegene Kugelschale ohne alle Wirkung bleibt, weil sich ihre Anziehungen gegenseitig aufheben. Hieraus folgt, dafs zwei völlig gleichlange Pendel, von denen das eine an der Sohle, das andere an der Mündung eines tiefen Schachtes schwingt, in gleichen Zeiträumen nicht dieselbe Anzahl von Oscillationen vollenden. Eine Verzögerung müfste die Bewegung des unteren Pendels erfahren, wenn die Erde eine gleichmäfsige Dichtigkeit besäfse. Da diese jedoch nach dem Erdmittelpunkte hin beträchtlich zunimmt, so dürfen wir im Erdinnern einen beschleunigten Gang des Pendels erwarten. Die Gröfse dieser Beschleunigung aber, welche durch die mittleren Dichtigkeiten der äufseren Erdschale und des Erdganzen bedingt ist, gewährt uns ein Mittel, die Veränderung der Schwere und daraus die mittlere Dichtigkeit der Erde zu berechnen[3]).

Nachdem Airy und Whewell, von besonderem Mifsgeschick betroffen, im Jahre 1826 sich vergeblich bemüht hatten, nach der

[1]) Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie. Göttingen 1830. Bd. II, S. 481.

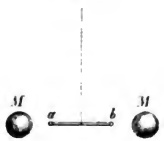
[2]) American Journal. Vol. XX (1880). p. 124 sq. Vol. XXI (1881), p. 99 sq.

[3]) Vgl. C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 31 ff.

angedeuteten Methode das specifische Gewicht der Erde zu bestimmen, nahm Airy diese Arbeit im Jahre 1854 mit besserem Erfolg wieder auf. Wesentliche Dienste leistete hierbei der während dieser Zeit erfundene elektrische Telegraph; denn nun erst war es möglich, den Gang des oberen und des unteren Pendels genau mit einander zu vergleichen. Airys Versuche, angestellt in der Kohlengrube Harton bei South-Shields (östlich von Newcastle), die eine Tiefe von 1263 e. Fuſs 6 Zoll (385 Meter) besitzt, ergaben für das untere Pendel in 24 Stunden eine Beschleunigung von $2^{1}/_{4}$ Sekunden und für die mittlere Dichtigkeit der Erde den Wert 6,566 oder, mit Berücksichtigung der Temperaturdifferenzen beider Stationen, 6,623 [1]): ein Resultat, welches sicher zu hoch ist. Der Wahrheit näher kommt jedenfalls das von Haughton, der mit Hilfe der Beobachtungen Airys, aber unter Anwendung eines anderen Wertes für die mittlere Dichtigkeit der Erdrinde das Resultat 5,48 fand [2]).

Bei einem dritten und zwar dem zuverlässigsten Verfahren zur Bestimmung der Dichtigkeit der Erde bedient man sich der bereits von Mitchell konstruierten, aber erst nach dessen Tode von Cavendish (1797 und 1798) zu diesem Zwecke verwandten Drehwage. Dieser Apparat hat etwa folgende Beschaffenheit (s. Fig. 23): An einem dünnen, herabhängenden Drahte befindet sich ein horizontaler, gleicharmiger Hebel, welcher an beiden Enden kleine Metallkugeln, *a* und *b*, trägt. Diese sind offenbar der Einwirkung der Schwere entzogen, und nur die Drehkraft des Fadens ist es, welche den aus seiner Ruhelage gebrachten Stab in diese zurückzuführen bestrebt ist. Es werden somit auch ganz schwache seitliche Anziehungen mit Hilfe dieses Instruments sichtbar und meſsbar. Nähert man sich den beiden kleinen Kugeln von der Seite her mit zwei groſsen Bleikugeln, *M*, die in gleichem Sinne ablenkend auf den Stab einwirken, so kommt der horizontale Hebel aus seiner Ruhelage und wird in sehr langsame, horizontale Schwingungen versetzt. Aus der Amplitude und Zeit dieser Schwingungen, sowie aus den bekannten Massen und Abständen der Kugeln läſst sich die

Fig. 23.



Drehwage.

[1]) G. B. Airy, Account of Pendulum Experiments undertaken in the Harton Colliery, for the purpose of determining the Mean Density of the Earth in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CXLVI (1856), p. 297—355.

[2]) Philos. Magazine. Vol. XII (1856), p. 50 sq. Vgl. Poggendorffs Annalen. Bd. XCIX (1856), S. 332—334.

Intensität der Kraft berechnen, mit welcher die grofsen Kugeln die kleinen anziehen, und daraus wieder die Masse und somit auch die mittlere Dichtigkeit der Erde.

Bezeichnen wir die Masse der Erde mit M, ihren Halbmesser mit R, die Masse der anziehenden Bleikugel mit m, den Abstand ihres Mittelpunktes von der angezogenen Kugel mit r, das absolute Gewicht der angezogenen Kugel mit B und die Anziehung, welche sie von der grofsen Kugel erleidet, mit b, so ist

$$B : b = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2},$$

in welcher Proportion aufser der zu bestimmenden Masse M alles bis auf b bekannt ist. Diese Gröfse aber wird mit Hilfe der Drehwage ermittelt, indem aus der Amplitude der Schwingungen die Drehung des Drahtes gemessen und aus der Schwingungszeit die zu solcher Drehung erforderliche Kraft berechnet wird, welche der Anziehungskraft der grofsen Kugel auf die kleine gleich ist.

Cavendish fand auf diese Weise die mittlere Dichtigkeit der Erde = 5,48 [1]) (nach Huttons Revision 5,32). Mit Hilfe vorzüglicher Apparate unternahm Reich in den Jahren 1835 bis 1837 die Lösung derselben Aufgabe und gelangte zu dem Werte 5,44 [2]), welcher späterhin nach einer verbesserten Methode neu berechnet und auf 5,49 erhöht wurde. Im Jahre 1843 publizierte Francis Baily die Resultate einer grofsen Reihe von Versuchen; er erhielt, gestützt auf mehr als 2000 Beobachtungen, für die mittlere Dichtigkeit der Erde die Ziffer 5,66 [3]). Reich erneuerte in den Jahren 1847 bis 1850 seine Messungen, nachdem er einige Verbesserungen an seinen Instrumenten angebracht hatte, und ermittelte nun den Wert 5,5832 mit dem wahrscheinlichen Fehler 0,0149 [4]). In neuerer Zeit haben A. Cornu und J. Baille noch einmal mit der Drehwage diese Bestimmung wiederholt. Sie erhielten im Sommer 1872 die Ziffer 5,56 und im Winter 1872/73 5,50 [5]); ihre später erneuerten Versuche führten nochmals zu der Zahl

[1]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. LXXXVIII (1798), p. 469—526.

[2]) F. Reich, Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage. Freiberg 1838. S. 66.

[3]) Baily, Experiments with the Torsion rod for determining the mean Density of Earth. London 1843.

[4]) F. Reich in einem Aufsatze „Neue Versuche mit der Drehwage" in den Abhandlungen der mathem.-physik. Klasse der Kgl. Sächs. Gesellschaft d. W. Bd. I (1852), S. 383—430.

[5]) Détermination nouvelle de la constante de l'attraction et de la densité moyenne de la terre in den Comptes rendus. Tome LXXVI (1873), p. 954—958.

5,56 [1]). Die annähernde Übereinstimmung aller dieser Zahlen zeigt, wie exakt und vertrauenswert die letztgenannte der drei Methoden ist. Wir werden sicher wenig irren, wenn wir die runde Zahl 5,6 als Durchschnittswert für die mittlere Dichtigkeit der Erde betrachten; es ist dies übrigens dieselbe Ziffer, welche den astronomischen Berechnungen der Planetendichtigkeiten zu Grunde liegt.

In neuerer Zeit wurde die Konstruktion der Wage so aufserordentlich vervollkommnet, dafs sich gleichzeitig zwei Physiker, Ph. v. Jolly [2]) in München und J. H. Poynting [3]) in Manchester, ihrer zur Bestimmung der Erddichte bedient haben. v. Jolly befestigte zu diesem Zwecke an jedem Hebelarm einer Wage ein Gehänge aus zwei Wagschalen, einer oberen und einer unteren. Da nun die Schwere eines irdischen Körpers und somit auch der Druck desselben auf seine Unterlage mit dem Quadrat der Entfernung vom Erdmittelpunkt abnimmt, so wird ein Gewichtsstück, welches aus der unteren Schale in die obere gebracht wird, dort eine geringere Schwere anzeigen. So vermindert sich in München das Gewicht eines Kilogramms, welches auf eine um 5,29 Meter höhere Station emporgehoben wird, um 1,5099 Milligramm. Umgekehrt wächst die Schwere eines Körpers, falls man ihn aus der oberen Schale in die untere legt; doch findet noch eine weitere Vermehrung seiner Schwere statt, wenn unter der tiefer hängenden Schale eine Bleikugel aufgestellt wird, und zwar ist diese Zunahme um so gröfser, je mehr sich der Körper dem Mittelpunkt der Bleikugel nähert. Der Unterschied der Gewichtszunahme mit und ohne untergelegte Bleikugel entspricht offenbar genau der alleinigen Zugkraft der letzteren. Es läfst sich nun aus diesem Zug der Bleikugel und dem Zug der Erde unter Benützung des Gravitationsgesetzes leicht bestimmen, wievielmal so grofs die Masse der Erde ist als die der Bleikugel, und hieraus ergiebt sich durch eine einfache Rechnung die Dichtigkeit der Erde.

Nach den Untersuchungen v. Jollys beträgt dieselbe 5,692, nach denen Poyntings fast genau so viel, nämlich 5,69. Da jedoch die Einzelwerte, welche aus den Poyntingschen Versuchen abgeleitet wurden, zwischen 4,4 und 7,1 schwanken, so ist der Poyntingsche Mittelwert noch mit entsprechend grofsen wahrscheinlichen Fehlern behaftet,

[1]) Sur la mesure de la densité moyenne de la terre in den Comptes rendus. Tome LXXXVI (1878), p. 699—702.

[2]) Abhandlungen der mathem.-physik. Klasse d. Kgl. Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Bd. XIII (1878), Abt. 1, S. 155—176 (abgedruckt in Wiedemanns Annalen. Bd. V (1878), S. 112—134) und Bd. XIV (1883), Abt. 2, S. 1—26 (auch in Wiedemanns Annalen. Bd. XIV (1881), S. 331—355).

[3]) Proceedings of the R. Society of London. Vol. XXVIII (1878), p. 2—35.

und es ist daher jener Übereinstimmung keine Bedeutung zuzumessen. Immerhin darf man der Jollyschen Zahl, die mit einem feinen, leicht kontrollierbaren Meſsapparate gewonnen worden ist, groſses Vertrauen schenken.

Das specifische Gewicht der Erde ist nach alledem gröſser als das des Magneteisenerzes (4,9 bis 5,2), um weniges kleiner als das des gediegenen Arsen, aber beträchtlich geringer als das des Eisens (7,2) und Zinns (7,3). Auffallend ist hierbei, daſs die oberen Teile der Erdrinde durchschnittlich ein specifisches Gewicht von nur 2,5 haben; diese Zahl ist sogar fast noch um die Hälfte zu vermindern, wenn man die mittlere Dichtigkeit der gesamten oberen Schichten des Planeten sowohl unter der trockenen, wie unter der oceanischen Oberfläche bezeichnen will. Die Dichtigkeit der Erde ist demnach keine gleichförmige, sondern nimmt im allgemeinen von der Oberfläche aus mit wachsender Tiefe zu. Jedenfalls besteht der Erdkörper aus concentrischen Schichten, deren Dichte in gleichem Abstand vom Erdmittelpunkte dieselbe ist, nach dem Erdinnern hin aber sich beständig vergröſsert. Nach welchem Gesetze dies geschieht, läſst sich bis jetzt mit keinerlei Sicherheit angeben; wahrscheinlich ist nur, daſs die Dichtigkeit des Erdkernes dem Werte 10 (die Dichtigkeit des Wassers gleich 1 gesetzt) nahe kommt oder ihn wohl gar überschreitet und daſs die Dichtigkeitsabnahme an der Oberfläche viel rascher erfolgt als in den Tiefen des Erdballes. Die bisher aufgestellten Formeln, in welchen dieser Verminderung der Dichtigkeit nach auſsen ein streng mathematischer Ausdruck verliehen ist, gehören also in den Bereich der Hypothesen. Auch läſst sich nicht entscheiden, ob die gröſsere Dichtigkeit der centralen Massen teilweise oder allein durch den Druck erzeugt wird. Die qualitative Verschiedenheit der Bestandteile unseres Planeten im Innern, die Steigerung der Temperatur nach dem Erdmittelpunkte zu, der mit der Tiefe bis zu vielen Zehntausenden von Atmosphären zunehmende Druck, mit welchem sicher eine Erhöhung des Schmelzpunktes verknüpft ist, die Veränderung des Aggregatzustandes im Erdinnern: dies alles sind Gegenstände, von welchen die Dichtigkeitszunahme nach unten abhängig ist, zu deren Erforschung uns jedoch die direkte Beobachtung nur einen äuſserst geringen Anhalt gewährt. Es dürften daher noch lange Zeiträume vergehen, ehe das Problem von der gesetzmäſsigen Zunahme der Dichtigkeit des Erdkörpers mit der Tiefe in befriedigender Weise gelöst werden kann.

III. Die Eigenwärme der Erde.

An den täglichen und jährlichen Temperaturschwankungen, welche sich in unserer Atmosphäre vollziehen, nimmt auch die Erdoberfläche teil. Allein schon in geringer Tiefe treten dieselben weniger stark hervor, was durch die bekannte Thatsache bestätigt wird, dafs Kellerräume im Winter verhältnismäfsig warm, im Sommer hingegen kühl bleiben. Nach den Beobachtungen von Quetelet[1]) sind die täglichen Wärmevariationen in Brüssel schon in der Tiefe von 1,23 Meter nicht mehr bemerkbar. Der Unterschied zwischen Sommer- und Wintertemperatur macht sich natürlich noch in gröfserer Tiefe geltend; doch wird auch er um so kleiner, je tiefer man hinabsteigt. Endlich erreicht man eine Tiefe, in welcher man jahraus jahrein dieselbe Temperatur, nämlich annähernd die mittlere Jahrestemperatur der darüber liegenden Oberfläche vorfindet: die sogenannte invariable Erdschicht.

In der Breite von Paris (48° 50′) werden herkömmlich die Tiefe und Temperatur der Caves de l'Observatoire (28 Meter und 11,82° C.) für Tiefe und Temperatur der invariablen Erdschicht gehalten. Im Jahre 1783 wurde hier durch Cassini und Legentil ein von Lavoisier konstruiertes, sehr genaues Quecksilberthermometer aufgestellt, welches noch Hundertteile von Graden abzulesen gestattet; dasselbe zeigt, wenn man von einigen äufserst geringfügigen, vielleicht durch Verschiebung der Skala herbeigeführten Schwankungen absieht, seit einem Jahrhundert ununterbrochen die Temperatur 11,82° C. Da diese Ziffer die mittlere Jahreswärme von Paris (10,822° C.) um 1° C. übertrifft, so hat Bravais mit Recht vermutet, dafs das Thermometer in den Caves de l'Observatoire schon unter der Grenze der invariablen Schicht stehe.

[1]) Bulletin de l'Acad. de Bruxelles 1836, p. 75.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturschwankungen aufhören, ist nicht für alle Gegenden der Erde dieselbe. Sie ist vielmehr abhängig von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vor allen Dingen aber von der Gröfse des Temperaturunterschiedes zwischen der heifsesten und kältesten Jahreszeit; doch liegt sie wahrscheinlich nirgends tiefer als 33 Meter und nirgends weniger tief als 4 – 6 Meter unter der Oberfläche.

Wäre die Temperatur irgendwo zu allen Jahreszeiten dieselbe, so würde offenbar die invariable Erdschicht bereits an der Erdoberfläche beginnen. Ist die Temperatur eines Ortes nur unbedeutenden Schwankungen unterworfen, so sind diese schon in geringen Tiefen kaum noch bemerkbar. Je schärfer aber der Gegensatz der jährlichen Wärme-Maxima und -Minima ist, um so tiefer dringen auch die Wärmevariationen in die Erde ein. Daher befindet sich die invariable Erdschicht in Ländern mit excessiven Temperaturen tiefer als in solchen, die ein gleichmäfsiges Klima besitzen, in den Äquatorialgegenden aber, wo die Extreme der jährlichen Temperaturen sehr wenig von einander abweichen, der Oberfläche weit näher als in unseren Breiten, wo diese Gegensätze meist sehr beträchtlich sind. Nach Boussingaults Beobachtungen liegt sie am Äquator und zwar bis 10° nördlich und südlich von demselben in einer Tiefe von nur ⅓ Meter, weshalb er meint, man könne dort die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes einfach durch die Beobachtung eines Thermometers ermitteln, welches 22 bis 32 Centimeter tief in einen bedeckten, vor Insolation vollständig geschützten Raum eingegraben ist[1]). Viele solche thermometrische Sonden, wie sie A. v. Humboldt treffend nennt[2]), zu verschiedenen Tageszeiten, an verschiedenen Tagen, ja in verschiedenen Monaten unternommen, ergaben immer fast genau dieselben Resultate, mochten sie selbst an den heifsen Ufern der Südsee in Guayaquil oder am Abhang des Vulkans von Puracé in mehr als 2600 Meter Meereshöhe angestellt werden, obgleich die mittlere Jahrestemperatur des ersten Beobachtungsortes von der des zweiten um 14° C. abweicht[3]). Indessen widersprechen die von Caldecott und Newbold in Ostindien, sowie von Junghuhn auf Java gemachten Erfahrungen den Boussingaultschen Angaben. So fordert

[1]) Dieses Verfahren wurde übrigens schon von Torbern Bergmann empfohlen. Vgl. dessen Physikalische Geographie. 3. Aufl. Greifswald 1791. Bd. II. S. 119.

[2]) Kosmos. Bd. IV, S. 40.

[3]) Boussingault: Sur la profondeur à laquelle on trouve dans la zone torride la couche de température invariable in den Annales de Chimie et de Physique. Tome LIII (1833), p. 225–247.

Junghuhn[1]) für Java, daſs das Thermometer $^2/_3$ bis 1 Meter tief in die Erde gesenkt und der Raum ebenfalls wohl verdeckt sein müsse, wenn das Thermometer konstante Temperaturen zeigen soll. In $^1/_3$ Meter Tiefe erleide der Stand des Quecksilbers noch bedeutende Schwankungen. Caldecott[2]) erkannte zu Trevandrum in Ostindien sogar in 3,9 Meter Tiefe noch eine jährliche Periode von $1^1/_4$ ° C., und es scheint, daſs dieselbe selbst in 6 Meter Tiefe hier noch fühlbar ist.

Daraus, daſs sich die invariable Schicht in der Tropenzone wenig tief unter der Erdoberfläche befindet, erklärt sich der groſse Übelstand, daſs die Wasser dort zu jeder Jahreszeit eine Temperatur von 20 bis 22 ° C. haben und somit kaum Erfrischung bieten können. Die gegenteilige Wirkung beobachtet man auf Island, wo infolge der geringen Differenz zwischen Sommer- und Wintertemperaturen die invariable Schicht ebenfalls nahe der Erdoberfläche liegt. Hier ergieſsen die Quellen das eisige Jahresmittel auch während des relativ warmen Sommers über die Fluren als ein Fluch für die Vegetation. Während man bei uns nicht selten die Äcker berieselt, schützt man sie in Island durch Ableitungsgräben vor dem vernichtenden Einfluſs der Quellwasser[3]).

Da nun, wo die mittlere Jahrestemperatur unter dem Nullpunkt steht, wird man schon in geringen Tiefen auf eine Schicht stoſsen, die immer gefroren bleibt: auf den unterirdischen Eisboden.

Bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts machte Gmelin[4]) darauf aufmerksam, daſs in Ostsibirien kaum einen Meter tief unter der Oberfläche der Boden selbst im Sommer nie auftaue; doch schenkte man seinen Mitteilungen hierüber keinen Glauben. Noch im Anfang unseres Jahrhunderts stand diese Nachricht so vereinzelt da, daſs man sie für ein Märchen erklärte, und Leopold v. Buch schreibt im Jahre 1825: „Sie sollte nicht mehr in physischen Lehrbüchern wiederholt werden“ [5]). Seit jener Zeit ist nicht nur die Existenz des Eisbodens an zahlreichen arktischen Orten bestätigt worden, sondern man kennt auch ziemlich genau die südliche Grenze desselben. Sie folgt nach Wild im Meeresniveau etwa der Jahresisotherme von — 2 ° C. Natürlich wird ihr Verlauf durch die Unebenheiten des Landes nicht unwesentlich beeinfluſst. Da die Lufttemperatur für je 160 Meter Bodenerhebung um etwa 1 ° C. abnimmt, so wird die

[1]) Franz Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart (übersetzt von J. K. Hafskarl). Leipzig 1852—1854. Bd. II, S. 771.

[2]) Proceedings of the R. Soc. of Edinburgh. Vol. II (1844—1850), p. 29—32.

[3]) Dove in den Physikalischen Abhandlungen der Kgl. Akademie d. W. zu Berlin aus d. J. 1844. Berlin 1846. S. 368.

[4]) Reise durch Sibirien. Göttingen 1752. Bd. II, S. 521 ff.

[5]) Physikalische Abhandlungen der Kgl. Akademie d. W. zu Berlin aus d. J. 1825, S. 95.

Grenze des Eisbodens auf 320 Meter hohem Terrain schon mit der Isotherme von 0° C. zusammenfallen.

Zu dem europäischen Eisbodengebiete gehören nur die Halbinseln Kola und Kanin, sowie das Petschoragebiet; in Asien reicht der Eisboden von Nord her etwa bis zu der Irtischmündung, dem Baikalsee, der Amurmündung und der Wurzel von Kamtschatka und umfaſst somit den gröſsten Teil von Sibirien. In Nordamerika endlich beherrscht der Eisboden die weiten Räume bis zu der Jukonmündung, dem Athabasca-See, der Südzacke der Hudsonsbai und der Mitte von Labrador. Grönland liegt fast ganz innerhalb des Eisbodengebietes. v. Middendorffs Angaben über die Südgrenzen des arktischen Eisbodens[1]) sind somit nicht mehr zutreffend, insbesondere auch darin nicht, daſs er der nördlichen Spitze des europäischen Kontinents gröſsere zusammenhängende Gebiete von Eisboden abspricht. So fanden Hermann und Karl Aubel in der Nähe von Kandalakscha (an dem Nordwestende des Weiſsen Meeres) kurz nach dem höchsten Sonnenstande und an einem warmen, ja heiſsen Tage kaum 1 Meter unter dem Moose mächtige Eismassen, „die offenbar als immerwährende angesehen werden müssen“. Ebenso besitzt die Halbinsel Kanin bis tief ins Erdinnere gefrorene Schichten[2]).

In Asien reicht der Eisboden im Amurgebiete am weitesten nach Süden, nämlich fast bis zum 50. Breitengrade, in Amerika an der Hudsonsbai, wo das unterirdische Eis unter dem 51. Breitengrade noch beobachtet wird.

Ohne Zweifel ist die Temperatur des Luftkreises vor allem entscheidend für den Verlauf der Äquatorialgrenze des Eisbodens, da diese im Meeresniveau ziemlich gut mit der Isotherme von — 2° C. zusammenfällt. Daſs sich beide Linien hie und da ein wenig von einander trennen, darf uns nicht Wunder nehmen, da das Eindringen der Meteorwasser, das Aufsteigen warmer Quellen aus der Tiefe und die verschiedene wärmeleitende Kraft des Bodens sicher, wenn auch nur als nebensächliche Faktoren, auf den Gang der Eisbodengrenze ihre Wirkung geltend machen.

Übrigens darf man nicht glauben, daſs das Südende des Eisbodens die Polargrenze der Vegetation bezeichne, und zwar hat man nicht bloſs Moose und Flechten, sowie verkrüppeltes Zwergholz über der Eisschicht angetroffen; selbst dichter, hochstämmiger Wald findet sich in Sibirien sowohl wie in Nordamerika im Gebiet des Eisbodens. So

[1]) Vgl. A. Th. v. Middendorff, Reise in den äuſsersten Norden und Osten Sibiriens. St. Petersburg 1848. Bd. I, Teil 1, S. 166. 179. A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 46 f. 169.

[2]) Hermann und Karl Aubel, Ein Polarsommer. Reise nach Lappland und Kanin. Leipzig 1874. S. 191. 292.

bildet die sibirische Lärche in der Umgebung von Werchojansk (nnö. von Jakutsk unter 67,6° n. Br.) trotz des niedrigen Jahresmittels (— 16,7° C., Januarmittel — 49° C.) hochstämmige, ziemlich dichte Waldungen, und wenn auch wegen der nicht seltenen sommerlichen Nachtfröste hier kein eigentlicher Ackerbau mehr möglich ist, so gedeiht doch noch mancherlei Gemüse. Die Bäume werden dadurch gegen die Kälte des unterirdischen Eises geschützt, dafs ihre Wurzeln wenig in die Tiefe gehen und, wenn sie das Eis erreichen, gerade als ob sie auf festes Gestein träfen, seitwärts fortwachsen[1]). Je tiefer der Boden im Sommer auftaut, um so günstiger sind natürlich die Bedingungen für die Entwicklung des Pflanzenlebens. Doch ist die Mächtigkeit der auftauenden Eisschicht nicht immer ausschliefslich von der Sommerwärme abhängig, sondern auch bisweilen von lokalen Umständen. Auffallend ist in dieser Hinsicht die Thatsache, dafs in Sibirien der Getreidebau in der Breite von Jakutsk (62° nördl. Br.) aufhört, während die Polargrenze des Ackerbaues in Nordamerika im Meridian des Mackenzie erst unter dem 65. Grad nördl. Br. zu suchen ist, obwohl die Sommerwärme hier viel geringer ist als an der Lena. Mafsgebend sind hier die Einwirkungen der gefrorenen Erdschichten, die in dem lockeren Erdreich Sibiriens viel mehr von Bodeneis erfüllt sind als am Mackenzie, wo die anstehenden granitischen Massen die Bildung von Bodeneis beschränken. Weil nun dasselbe in Sibirien in gröfserer Menge vorhanden und zugleich weiter unter den Gefrierpunkt abgekühlt ist, so vermag es hier die Sommerwärme weniger tief aufzutauen. In der That erreicht die vom Eis befreite Schicht bei Jakutsk nur eine Tiefe von 1 Meter, am Mackenzie unter gleicher Polhöhe hingegen eine solche von 3½ Metern. Somit mufs die Bodenwärme, soweit die Wurzeln des Getreides ihr ausgesetzt sind, am Mackenzie weit beträchtlicher sein, weshalb hier naturgemäfs die Polargrenze des Getreidebaues tiefer in die arktischen Gebiete eindringt[2]).

Oft ist der Boden bis zu einer ansehnlichen Tiefe hinab gefroren, wie sich dies namentlich bei der Anlegung des berühmten Schergin-schachtes zeigte. Fedor Schergin, ein patriotischer Bürger in Jakutsk, begann daselbst im Jahre 1828 mit dem Bau eines Brunnens und hoffte, in einer Tiefe von 9 Metern, d. h. unter dem niedrigsten Niveau der Lena, Wasser zu finden. Im Jahre 1831 war die Grube bereits bis auf 32 Meter vertieft. Da er aber immer nur auf gefrorenes Erdreich traf, so würde er die Arbeit aufgegeben haben, wenn nicht Admiral v. Wrangell auf seiner Durchreise nach Sitcha ihn dazu aufgefordert hätte, den Bau im Interesse der Wissenschaft weiter zu

[1]) A. Grisebach, Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 238 f.
[2]) A. Grisebach, l. c. Bd. II, S. 241.

führen. So gelangte man denn im Jahre 1837 bis zu einer Tiefe von 382 engl. Fufs (116$^1/_2$ Meter) hinab. Da auch hier das Bodeneis noch nicht wich, so gab man die Hoffnung auf Erreichung des Zieles auf und stellte die Arbeit ein, wobei man zugleich die Grube sorgfältig verdeckte. Erst 1844 wurde sie von A. Th. v. Middendorff im Auftrage der Petersburger Akademie wieder geöffnet und zu regelmäfsigen Temperaturbeobachtungen eingerichtet [1]). v. Middendorff, vom April 1844 bis Juni 1846 mit den Temperaturmessungen beschäftigt, fand schon in einer Tiefe von c. 20 engl. Fufs (6 Meter) die mittlere Jahreswärme von Jakutsk (— 10,15° C.). An dem Boden des Brunnens (in 382 engl. Fufs oder 116$^1/_2$ Meter Tiefe) war die Temperatur erst auf — 3° C. gestiegen. Demnach betrug die allgemeine Wärmezunahme auf 50,6 engl. Fufs (15,4 Meter) 1° C. Die untere Grenze des gefrorenen Erdreichs liegt nach v. Middendorff in einer Tiefe von 612 bis 642 engl. Fufs (186,5 bis 195,7 Meter) [2]); in solcher Tiefe würde man also erst die mit Wasser getränkte Erdschicht erreicht haben. Indessen beansprucht diese Rechnung keine Genauigkeit, da ohne Zweifel mehrfache störende Einflüsse hier mit im Spiele waren; namentlich sind die Beobachtungen durch die in der Grube niedersinkende kalte Winterluft fehlerhaft geworden [3]).

Wir gehen nun dazu über, die Gröfse der geothermischen Tiefenstufe zu ermitteln, d. h. diejenige Tiefe, mit welcher die Temperatur des Erdinnern, von der unveränderlichen Wärmeschicht angefangen, um 1° C. zunimmt. Vorher aber müssen wir noch gewisse Anomalien erwähnen, welche bei Messungen auf unebenem Terrain in Betracht kommen.

Im allgemeinen sind die Tiefenstufen in vertikaler Richtung abzumessen. Indessen würde dies nur auf ebenem Terrain zu richtigem Resultate führen; für ein stark bewegtes Relief ist ein anderes Verfahren zu fordern.

In der Atmosphäre findet nämlich eine ähnliche Abnahme der Temperatur von unten nach oben statt wie in der Erdkruste; nur besteht hier der Unterschied, dafs sie im ersten Falle (wenigstens an

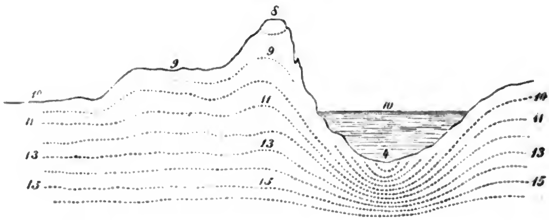
[1]) A. Th. v. Middendorff, l. c. Bd. I, Teil 1, S. 92 ff.

[2]) Es mufste bei Berechnung dieser Tiefe mit in Betracht gezogen werden, dafs die geothermischen Stufen nach unten wachsen. Vgl. hierzu S. 211 ff.

[3]) Auf dem Boden des Schachtes fand Schergin im Jahre 1837 die Temperatur — 0,6° C. Als ihn v. Middendorff im Februar 1844 wieder öffnete, mufste am Boden eine Eismasse von etwa 4$^1/_5$ Kubikmeter herausgearbeitet werden, und dann zeigte das Thermometer eine Temperatur von — 3° C. (Poggendorffs Annalen. Bd. XLIII (1838), S. 191 und Bd. LXII (1844), S. 404 ff.). Der Eisboden reichte also wohl nur bis zu 120 Meter Tiefe hinab.

den Abhängen der Gebirge) fünf- bis sechsmal so langsam erfolgt als im zweiten, d. h. die aërothermischen Höhenstufen sind fünf- bis sechsmal so grofs als die geothermischen Tiefenstufen. Nun hängt die Mitteltemperatur der äufseren Erdschichten im wesentlichen von der mittleren Lufttemperatur ab; es richtet sich also die Temperatur der höheren Teile eines Berges nach den aërothermischen Höhenstufen. Weil aber innerhalb einer solchen Stufe 5—6 geothermische Stufen liegen, so müssen zwar die Chthonisothermen (Linien in der Erde, welche Punkte mit derselben Temperatur verbinden,) notwendig innerhalb des Berges in die Höhe steigen, doch in weit geringerem Mafse als die Abhänge des Berges selbst (Fig. 24). Erfahren sonach die Chthonisothermen in Bergen eine den äufseren Umrissen des Bodens entsprechende konvexe Wölbung, so ist das Umgekehrte, ihre Umbiegung zu konkaven Linien, unter den Thälern (vgl. S. 208), besonders aber unter dem Grunde der Seen zu erwarten. Da das reine Süfswasser

Fig. 24.



Der Verlauf der Chthonisothermen unter unebenem Terrain.

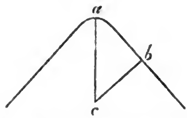
bei 4 ° C. sein Dichtigkeitsmaximum zeigt, so ist dies die fast konstante Temperatur in der Tiefe gröfserer Süfswasseransammlungen und zwar sowohl die des Wassers wie des Bodens, auf welchem es sich ausbreitet. Indes werden dem abgekühlten Seegrunde von unten wie von der Seite her neue Wärmemengen zugeführt. Hier begegnen wir also einer relativ beschleunigten Temperatursteigerung nach unten; somit drängen sich auch die Chthonisothermen dichter zusammen und sind schwächer gekrümmt als die Wandungen des Seegrundes.

Da die Wärmezunahme in den Tiefen der Berge langsamer erfolgt als unter der Sohle der Thäler, so müssen, wie Fig. 24 deutlich zeigt, die konvexen und konkaven Ausbiegungen der Chthonisothermen nach unten zu mehr und mehr verschwinden, und in einer gewissen Tiefe werden diese Linien, wenn man von anderen störenden Einflüssen,

z. B. der ungleichen Leitungsfähigkeit der Felsarten absieht, der Oberfläche des Erdsphäroids völlig parallel laufen.

Aus den obigen Betrachtungen geht hervor, daſs ansehnliche Fehler entstehen würden, wenn man, wie auf horizontaler Ebene, auch auf groſsen, geneigten Flächen oder an den Abhängen hoher Berge die Tiefenstufen ohne weiteres in vertikaler Richtung abmessen wollte. Hier hat man nicht der Lotlinie zu folgen, sondern einer Normalen auf der Terrainböschung, also nicht der Linie *ac* (Fig. 25), sondern *bc*; denn in dieser Richtung wird hier die Wärme ausgeleitet, während dies erst in gröſseren Tiefen auch unter solchem Bergesabhange in vertikaler Richtung geschieht. Somit muſs in Gebirgen und auf hohen Einzelbergen jede unterirdische Station mit demjenigen Punkte in Beziehung gebracht werden, wo die auf die nächste Böschung gezogene Normale ausmündet, wofür wir auch sagen können: die Tiefe ist rechtwinklig gegen die mittlere Richtung der Bodenoberfläche in Rechnung zu ziehen. Eine Messung in vertikaler Richtung ist erst dann statthaft, wenn die Station **unter** der allgemeinen Basis des Berges liegt; denn erst für Punkte unterhalb dieser darf ein vertikaler Ausfluſs der Wärme angenommen werden [1]).

Fig. 25.



Messung der geothermischen Tiefenstufe an Berggehängen.

Die ersten Beobachtungen über die Temperaturzunahme im Erdinnern wurden in Bergwerken angestellt und zwar bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts (1740 von Gensanne in den Bleigruben von Giromagny in den Vogesen). Seitdem ist durch zahlreiche Temperaturmessungen in den Schächten der verschiedensten Länder ein reiches statistisches Material zu Tage gefördert worden, und zwar beziehen sich diese Messungen auf die Temperatur teils der Grubenluft, teils des Grubenwassers, teils des Grubengesteins [2]).

Die Temperaturen der Grubenluft gewähren freilich kein genaues Maſs der eigentlichen, ursprünglichen Temperaturzunahme, da durch die Ausstrahlung des menschlichen Körpers, durch die Grubenlichter, durch Pulverexplosionen, wie durch Arbeit überhaupt die Grubenluft erwärmt wird, während der unvermeidliche, wie unentbehrliche

[1]) C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 51. 52. B. Studer, Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie. Bern 1847. Kap. II. S. 39—41. Poggendorff in Poggendorffs Annalen. Bd. XXXVIII (1836), S. 600 f.

[2]) Ernst Erhard Schmid, Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1860. S. 84 ff.

Luftzug (Wetterwechsel) bald einen erwärmenden, bald einen abkühlenden Einflufs geltend macht. Der Luftzutritt von aufsen kann die Temperatur sogar so sehr verändern, dafs statt der erwarteten Temperaturzunahme nach dem Erdinnern eine Abnahme zu bemerken ist. Namentlich ist dies der Fall, wenn jener Zutritt nur von oben durch gedeckte Verbindungswege gegeben ist; es dringt dann zwar im Winter die kalte, dichte Luft ein, aber nicht im Sommer die warme, dünnere, wodurch ein tief liegender Raum beständig eine dem Gefrierpunkt nahe Temperatur erhalten kann.

Auch aus der Temperatur der Grubenwässer läfst sich mit keinerlei Sicherheit die Wärmezunahme nach dem Erdinnern ableiten, da sie bald von oben, bald von unten her kommen und ihre Temperatur somit in vielen Fällen nicht derjenigen des Beobachtungsortes entspricht. Namentlich ist ihr Wärmegrad von vielerlei Zufällen abhängig, wenn dieselben aus niedergesunkenen Tagewässern bestehen. Das in einem nicht überfliefsenden Bohrloch sich befindende Wasser vollzieht ferner eine Cirkulation und zwar in derselben Weise wie dasjenige, welches in einem Gefäfse erwärmt wird. Das specifisch leichtere wärmere Wasser steigt in die Höhe, während dafür kälteres, schwereres Wasser herabsinkt. Daraus folgt, dafs die Temperatur nicht überfliefsenden Grubenwassers in den oberen Tiefen gewöhnlich höher ist als die des benachbarten Gesteins, dagegen geringer als diese in der Nähe der Bohrlochsohle und dafs dieser Fehler mit dem Unterschiede zwischen ursprünglicher unterer und oberer Wärme des Wassers, also mit der Tiefe eines Bohrloches wächst[1]).

Die zweckmäfsigste und sicherste Methode ist ohne Zweifel die, welche direkt auf Ermittelung der Temperatur des Gesteins selbst gerichtet ist. Zu derartigen Temperaturmessungen werden Bohrlöcher rechtwinklig und möglichst tief in die Gesteinswand geschlagen und die Thermometer in sie eingesenkt. Die am Ende der Thermometerröhre befindliche Skala bleibt immer aufserhalb des Gesteins; der Stand der Instrumente kann daher jederzeit ohne Verrückung derselben abgelesen werden. Dabei ist sorgfältig darauf Bedacht zu nehmen, dafs sie vor allen störenden Einflüssen geschützt sind. Durch besondere Vorrichtungen sind, wie dies Dunker zuerst in Sperenberg (Reg.-Bez. Potsdam, Kreis Teltow) gethan hat, in den Bohrlöchern kurze Wassersäulen abzuschliefsen, damit nicht die oben bereits erwähnte Cirkulation eintreten kann. Wird ferner unmittelbar nach

[1]) E. Dunker: „Über die Benutzung tiefer Bohrlöcher zur Ermittelung der Temperatur des Erdkörpers und die deshalb in dem Bohrloche I zu Sperenberg auf Steinsalz angestellten Beobachtungen" in der Zeitschrift für die gesamten Naturwissenschaften. Bd. VI (neue Folge, ersch. 1872), S. 339.

einer Bohrarbeit gemessen, so erhält man eine zu hohe Temperatur; denn der Bohrer erhitzt sich während der Thätigkeit und zugleich das Gestein wie das Grubenwasser in diesem. Insbesondere geschieht dies, wenn in einem weiten, tiefen Bohrloche längere Zeit energisch mit Dampfkraft gebohrt worden ist. In solchem Falle reicht, wie die Erfahrung lehrt, auch die Arbeitsruhe während des Sonntags nicht aus, um dem in der Nähe der Bohrvorrichtungen sich befindenden Grubenwasser den Teil der Wärme zu entziehen, den es durch die Bohrarbeit erhalten hat. Doch darf man nach Herstellung des Bohrloches auch nicht zu lange mit Vornahme der Beobachtungen säumen, da im Laufe der Zeit die Temperatur der Grubenluft sich ändert, was zugleich gröfsere oder geringere Schwankungen in der Temperatur des Gesteins nach sich zieht. Glücklicher Weise dringen derartige Wirkungen nur langsam in die Wandungen der Gruben ein, wie denn Reichs Beobachtungen[1] gelehrt haben, dafs ein 40 Dresdner Zoll (108 Centimeter) tief eingesenktes Thermometer während einer in 44 Stunden allmählich bewirkten Erhöhung der Lufttemperatur um 0,65° C. nur um 0,04 bis 0,06° C. stieg. In längeren Zeiträumen ist jedoch der Temperaturwechsel innerhalb des Gesteins durchaus nicht so unwesentlich. So betrug z. B. nach Lupton[2]) in der Kohlengrube von Bucknall (Nottinghamshire) die Temperatur der Kohle im Augenblick der Eröffnung des Schachts 21,11° C. Zehn Monate später bohrte man ein Loch von 60 Centimeter Tiefe in die Wandung einer Galerie, durch welche ein Luftstrom gezogen war, und man fand nur noch 15,27° C. Ähnliche Resultate ergaben sich auch durch Beobachtungen in anderen Schächten. Zur Fernhaltung fremdartiger Einflüsse ist das Bohrloch sofort nach seiner Vollendung und nach Einsenkung des Thermometers sorgfältig zu verstopfen. Wir fügen noch hinzu, dafs es selbst bei Anwendung aller nur denkbaren Vorsichtsmafsregeln nicht möglich ist, absolut konstante Temperaturen zu erhalten, und zwar haben die Beobachtungen in Sachsen[3]) und in Preufsen[4]), wie in Cornwall und Devonshire gelehrt, dafs die erkaltenden Einflüsse die erwärmenden überwiegen.

Leider vermag der Mensch nur in relativ geringe Tiefen hinabzusteigen; kaum ist es ihm gelungen, wenn wir uns eines schon oft gebrauchten Bildes bedienen dürfen, die Haut des Erdkörpers zu

[1]) F. Reich, Beobachtungen über die Temperatur des Gesteins in verschiedenen Tiefen in den Gruben des sächsischen Erzgebirges in den Jahren 1830 bis 1832. Freiberg 1834. S. 9.

[2]) Ausland 1869, S. 1004.

[3]) F. Reich, l. c. S. 127.

[4]) Poggendorffs Annalen. Bd. XXII (1831), S. 527.

durchbohren. Denn welche Tiefen haben wohl unsere ansehnlichsten Schächte? Einige Gruben bei Freiberg erreichen 550 bis 580 Meter Tiefe und darüber; die Grube Samson bei Andreasberg ist 670 Meter tief; bei Kitzbüchl in Tirol ist man bis zu 947 und bei Kuttenberg in Böhmen bis zu 1151,6 Meter Tiefe unter der Erdoberfläche eingedrungen [1]). Das Bohrloch in der Nähe des Irrenhauses von St. Louis (Missouri) reicht 3843,5 engl. Fuſs (= 1171,5 Meter) tief hinab [2]). Selbst das tiefste Bohrloch, welches bisher irgendwo niedergebracht worden ist, den mächtigen Steinsalzlagern zu Sperenberg angehörend, hat nur eine Tiefe von 1272 Metern [3]). Derartige Tiefen (= $^1/_{5000}$ des Erdhalbmessers) erscheinen auf dem groſsen Erdkörper so geringfügig wie ein mit Hilfe einer Stecknadel ausgeführter Stich von $^1/_{10}$ Millimeter Länge auf einem Globus, dessen Durchmesser einen Meter beträgt. Trotzdem bemerken wir in den uns zugänglichen Erdschichten bereits eine bedeutende Temperaturzunahme.

Die geothermische Tiefenstufe (s. S. 201) findet man, indem man, an der oberen Grenze der invariablen Schicht beginnend, die erbohrte Tiefe durch die Differenz der an beiden Enden beobachteten Temperaturgrade dividiert. Kann die Rechnung keinen Anspruch auf Genauigkeit erheben, so benützt man wohl auch die Gesamtlänge des Bohrloches, wobei man als Temperatur an der Mündung desselben die mittlere Jahrestemperatur des betreffenden Ortes annimmt. In beiden Fällen setzt man voraus, was wenigstens für die uns gewöhnlich erreichbaren Tiefen zulässig ist, daſs die Temperatur gleichmäſsig mit der Tiefe, also in arithmetischer Progression wächst.

Die Temperaturbeobachtungen in Gruben haben Resultate geliefert, die weit von einander abweichen. Es durfte dies auch kaum anders erwartet werden, da selbst bei gröſster Umsicht nicht alle der oben erwähnten störenden Einflüsse fern gehalten werden können. Oldham bestimmte die Tiefenstufe in der Grafschaft Waterford (Irland) = $53^1/_2$ Meter für 1° C. [4]). In Preuſsen ist die Gröſse der Tiefenstufe für 1° C. Temperaturzunahme in den einzelnen Landesteilen auſserordentlich verschieden; sie schwankt zwischen den Extremen $15^1/_2$ und $115^1/_3$ Meter und beträgt im Mittel $54^1/_4$ Meter [5]). Nach Reich ist die Temperaturzunahme in den Gruben des sächsischen Erzgebirges

[1]) Naumann, l. c. Bd. I, Nota 1 zu S. 43.

[2]) Transactions of the Academy of Sciences of St. Louis. Vol. II, Nr. 2, p. 216 sq.

[3]) H. v. Dechen, Die nutzbaren Mineralien und Gebirgsarten im Deutschen Reiche. Berlin 1873. S. 691.

[4]) C. F. Naumann, l. c. Bd. I, S. 47.

[5]) C. F. Naumann, l. c. Bd. I, S. 46.

durchschnittlich 1° C. auf 41,84 Meter[1]); fast genau denselben Wert (1° C. auf 41,4 Meter) lieferten Schwartz' Untersuchungen in dem Grünstein-Trachyt der Bergwerke zu Schemnitz (Ungarn). In dem Bohrloche von Sperenberg findet sich nach Dunkers Beobachtungen 1269 Meter unter der Erdoberfläche eine Temperatur von 48° C.[2]); somit ergiebt sich, wenn wir als mittlere Jahreswärme von Sperenberg 9° C. und als Tiefe der invariablen Schicht 27 Meter in Rechnung bringen, eine geothermische Tiefenstufe von 31,8 Metern.

Von besonderem Interesse sind die Temperaturbeobachtungen, welche bei dem Bau des Mont-Cenis- und des Sankt-Gotthard-Tunnels gemacht wurden. Da der erstere in seinem mittleren Teile 1369 Meter über dem Meeresspiegel liegt, während das Observatorium auf der Frejusspitze darüber eine Höhe von 3143 Metern besitzt, so befindet man sich im Tunnel 1774 Meter unter der Erdoberfläche, demnach tiefer, als dies gegenwärtig irgendwo anders möglich ist, wobei man zugleich c. 6000 Meter oder $^4/_5$ geogr. Meile vom Ausgangspunkt des Tunnels entfernt ist. Doch mufs jene Tiefenschicht in unserer Berechnung etwas verkürzt werden, weil die auf die nächstliegende Böschung des Berges gezogene Normale (vgl. S. 203), welche in einer Meereshöhe von ungefähr 2670 Metern ausmündet, nur eine Länge von 1625 Metern hat; diese Ziffer bezeichnet die in Betracht kommende Tiefe[3]). Was die Temperatur der Felsen im Innern des Tunnels betrifft, so sind leider die Beobachtungen auf der französischen Seite wenig vertrauenswürdig, auf italienischer Seite zwar besser, aber nicht immer durch Maximum- und Minimum-Thermometer ausgeführt worden. Es ergab sich für die eigene Wärme der Felsen in der Mitte des Tunnels eine Temperatur von 26,6° C. (21,3° R.). Setzen wir als mittlere Jahrestemperatur in der Höhe von 2670 Metern —1,4° C. in die Berechnung ein[4]), so erhalten wir für die geothermische Tiefen-

[1]) F. Reich, l. c. S. 131. 134.

[2]) Dunker, l. c. S. 337.

[3]) Die genannten Zahlen sind berechnet nach dem Profil im Ausland 1870, S. 1155.

[4]) Direkte Beobachtungen fehlen; doch werden wir wenig irren, wenn wir, gestützt auf Weilenmanns sorgfältige Untersuchungen über die Veränderungen der Temperatur in gröfserer Meereshöhe und unter verschiedenen Breiten innerhalb der Schweiz (Schweizerische meteorologische Beobachtungen. Jahrg. 1871), die mittlere Jahrestemperatur in der dortigen Gegend bei 0 Meter Meereshöhe = 14° C. und in 2670 Meter Höhe = —1,4° C. annehmen (nach Weilenmann ist die durchschnittliche Temperaturerniedrigung in der Schweiz für 100 Meter Erhebung = 0,577° C.); die meteorologischen Verhältnisse sind hier ja im allgemeinen dieselben wie in der Schweiz. Vgl. J. Hann in Behms Geographischem Jahrbuch. Bd. V (1874), S. 10.

stufe den Wert $\frac{1625}{28}$ Meter = 58 Meter für 1° C.; demnach ist hier die Wärmezunahme nach der Tiefe eine vergleichsweise sehr geringe.

Im Centralteile des Sankt-Gotthard-Tunnels (1150 Meter über dem Meeresspiegel) beträgt die mittlere Gesteinstemperatur 30,43° C. Bei der Zerrissenheit des Gotthardprofils war es eine sehr mühevolle Arbeit, für zahlreiche Punkte des Tunnels deren kürzesten Abstand von der Gebirgsoberfläche und für die verschiedenen Punkte der letzteren die mittleren Bodentemperaturen zu bestimmen[1]). Die Tiefenstufen schwankten aufserordentlich hinsichtlich ihrer Gröfse. Unter der Andermatter Ebene, welche der Tunnel in einer Tiefe von 305 Metern auf 1500 Meter Länge unterfährt, nimmt die Temperatur auf je 20,5 Meter um 1° C. zu, unter dem steil aufsteigenden Abhang der Wannelen (4,4 Kilometer vom Nordportal) jedoch erst auf je 42,6 Meter. Auf der Südseite des Gotthardtunnels ist die Tiefenstufe unter dem Sellasee (4 Kilometer vom Südportal) = 45 Meter, weiter hinab gegen das südliche Tunnelende unter dem hohen Steilkamm der Cima Loita-Misura (2,1 Kilometer vom Südportal) = 62,3 Meter. Mögen auch hie und da Wasserzuflüsse und chemische Prozesse innerhalb des Gesteins (z. B. Kaolinisierung des Feldspates unter der Andermatter Ebene) lokale Störungen der Wärmezunahme veranlassen, so ist es doch zweifellos, dafs diese Unregelmäfsigkeiten meist durch den Oberflächenverlauf des über dem Tunnel liegenden Terrains bewirkt werden. Unter den Bergspitzen nimmt nämlich die Wärme nach dem Erdinnern stets langsamer zu als unter Ebenen und Thälern; die Linien gleicher Erdwärme entfernen sich daher von einander unter allen Bergen, nähern sich hingegen unter den Thälern in ähnlicher Weise, wie dies Fig. 24 (S. 202) andeutet.

Aufserordentlich auffallend sind die Temperaturverhältnisse in einer Steinkohlengrube bei Monte-Massi in Toscana. Der dortige Schacht ist nach Matteucci 342 Meter tief und zeigt in dieser Tiefe die überraschend hohe Temperatur von 39,2° C., während die Mitteltemperatur an der Oberfläche und jedenfalls auch in 25 Meter Tiefe nur 16° C. beträgt. Somit ist die geothermische Tiefenstufe bei Monte-Massi = 13,7 Meter[2]). Dieser Schacht, obgleich nur in tertiärem Gebirge angelegt, befindet sich in geringer Entfernung von vulkanischen

[1]) Wir verweisen hier besonders auf die beiden eingehenden Arbeiten F. M. Stapffs: Studien über die Wärmeverteilung im Sankt Gotthard. Bern 1877. Rapport trimestriel Nr. 30 du Conseil fédéral sur la marche des travaux du St.-Gotthard. Annexe XIV avec planche X. 1880.

[2]) Aus den Comptes rendus. Tome XVI (1843), p. 937 sq. Poggendorffs Annalen. Bd. LIX (1843), S. 176.

Spalten, und man darf vermuten, dafs die Nähe eines vulkanischen Herdes auf die Erhöhung der Temperatur in dem Gestein der Umgegend einen Einflufs ausgeübt hat.

Und doch wird jenes Resultat noch übertroffen von demjenigen, welches die Beobachtungen in dem 339,5 Meter tiefen Bohrloche zu Neuffen (Württemberg) geliefert haben. Mandelsloh fand hier in 28,6 Meter Tiefe die Temperatur 10,8 ° C., 1,9 Meter über dem Grunde des Bohrloches aber 38,7 ° C. Sonach ist hier die geothermische Tiefenstufe für 1 ° C. = 11,0 Meter, wird also von dem gewöhnlichen Mafs derselben um das Dreifache übertroffen. Diese Thatsache zu erklären ist um so schwieriger, als die durchbohrten Schichten der Juraformation angehören und der Bohrpunkt selbst 356 Meter über dem Meeresspiegel liegt. Daubrée meint, dafs die dortigen hohen Wärmegrade Nachwirkungen von Basaltdurchbrüchen seien, die einstmals hier stattfanden, während Bischof die Annahme vertritt, dafs jene aufsergewöhnliche unterirdische Wärme ihren Ursprung mächtigen Quellen verdanke, welche dort aus grofser Tiefe emporsteigen [1]).

Die seltsamsten Temperaturzustände herrschen wohl in der Comstock-Grube zu Nevada (Vereinigte Staaten). In der Tiefe von c. 600 Metern trifft man hier eine Gesteinstemperatur von nahezu 60 ° C., auf dem Grunde in 800 Meter Tiefe sogar Wasser von 70 ° C. Die Grube wird in ihren mittleren Teilen mehrfach von schmalen Gürteln durchschnitten, in denen sich die Wassertemperatur plötzlich bis 69,4 ° C. steigert, während gewisse feuchte Zonen der im allgemeinen trockenen Grube nur 10 bis 15 ° C. aufweisen. Hier liegt es nahe, den örtlich hohen Temperaturen vulkanischen Ursprung zuzuschreiben; denn jene Gegend ist von stark vulkanischem Charakter und besitzt Lavafelder und siedend heifse Quellen [2]).

Besonders lehrreich ist die Thatsache, dafs in den Kohlenbergwerken die Wärmezunahme meist viel schneller erfolgt als in Erzgruben; sie ist im Durchschnitt in den ersteren fast doppelt so grofs als in den letzteren. Sie beträgt z. B. (nach Marsilly) in vier Kohlenschächten bei Anzin in Nordfrankreich 1 ° C. auf 25,9, 20,7, 15,6 und 15,4 Meter. Unverkennbar sind die höheren Temperaturen innerhalb des Steinkohlengebirges eine Folge von chemischen Zersetzungsprozessen, die sich in den aus vorweltlichen Pflanzenmassen bestehenden Kohlenflötzen fort und fort vollziehen. Auch machen sich in Steinkohlenbergwerken die abkühlenden Störungen deshalb verhältnis-

[1]) C. F. Naumann, l. c. Bd. I, Nota 1 zu S. 48.

[2]) Vgl. J. A. Church, The Comstock Lode, its formation and history. New-York 1879 und J. A. Phillips in Nature. Vol. XXII, Nr. 563 (12. August 1880), p. 337 sq.

mäfsig wenig bemerkbar, weil die Strecken hier am raschesten vorwärts getrieben werden.

Höchst seltsam erschien es anfangs, dafs zwei Steinkohlengruben bei Carmeaux (Dép. Tarn), die Gruben von Ravin und Castillan, welche nur 2 Kilometer von einander entfernt sind, wesentliche Unterschiede bezüglich ihrer geothermischen Tiefenstufen darboten (42, resp. 28 Meter für 1° C.)[1]. Cordier erklärte dies daraus, dafs der Untergrund der einen Grube ein sehr mächtiger Kupfererzgang ist, dessen Leitungsvermögen bedeutender ist als das des umgebenden Gesteins und der somit auch eine höhere Temperatur besitzen mufs. Von welcher Wichtigkeit in ähnlichen Fällen die gröfsere Leitungsfähigkeit der Erzgänge ist, zeigen auch die Beobachtungen in den Gruben von Cornwall, wo die Erzgänge eine um 1° bis 2,8° C. höhere Temperatur aufweisen als erzfreies Gestein, und wiederum ermittelte man in den Kupfergängen eine höhere Temperatur als in den Zinngängen[2]. Hierzu kommt endlich noch, dafs die Wärmecapacität und das Wärmeleitungsvermögen der Gesteine selbst verschieden ist. Ihre materielle Beschaffenheit, sowie ihre Struktur ist so mannigfach, dafs sie auch als Wärmebinder und Wärmeleiter notwendig nicht die nämlichen Wirkungen ausüben können. Dies wird zugleich durch die Erfahrung bestätigt. So fanden Fox[3] und Henwood, dafs in den Cornwaller Gruben, welche teils durch Granit, teils durch Schiefer führen, die Wärme in dem Schiefer im allgemeinen nach unten rascher zunahm als im Granit.

Noch besser als Gruben eignen sich artesische Brunnen, insbesondere kurz nach ihrer Anlegung, nachdem alle Verhältnisse ins Gleichgewicht gekommen sind, zur Erforschung der Temperaturen in tieferen Erdschichten; denn man kennt nicht blofs jederzeit genau ihre Tiefe, sondern man kann auch von Meter zu Meter die Eigenwärme des aus jeder Schicht hervorbrechenden Wassers messen. Diese aber entspricht genau der Temperatur derjenigen Gesteinszone, aus welcher das Wasser sich ergiefst. Freilich ist auch hier der Fehler nicht ganz ausgeschlossen, dafs die im Tiefsten erbohrten Quellen relativ kalt oder warm sind. Das erstere wird sich immer dann ereignen, wenn die Wasser aus gröfserer oder geringerer Tiefe sehr rasch dem unteren Ende des Bohrloches zuströmen. Auch zeigen die artesischen Brunnen vereinzelt Temperaturschwankungen, welche auf

[1]) Aus den Mém. de l'acad. roy. des sc. de l'inst. de France. Classe des sc. mathémat. et de phys. Tome VII in Poggendorffs Annalen. Bd. XIII (1828), S. 365 f.

[2]) Poggendorffs Annalen. Bd. XIII (1828), S. 367.

[3]) Gilberts Annalen. Bd. LXXVI (1824), S. 427 f.

den Eintritt irgend einer Katastrophe in der Tiefe schliefsen lassen. So meldeten z. B. die Pariser Zeitungen im Jahre 1866, dafs die Temperatur des den artesischen Brunnen von la Grenelle und Passy entquellenden Wassers plötzlich von 82° F. (27,8° C.) auf 85° F. (29,4° C.) gestiegen sei[1]).

Im allgemeinen aber liefern die Beobachtungen in artesischen Brunnen recht zuverlässige Resultate; demgemäfs differieren auch die hier gefundenen Maxima und Minima der Wärmezunahme nach dem Erdinnern viel weniger als die in Bergwerken ermittelten Werte, wie dies die nachfolgenden Angaben beweisen.

	Bohrbrunnen v. la Grenelle in Paris.	Bohrbrunnen v. Neusalzwerk in Westfalen.	Bohrbrunnen v. Mondorff im Grofsherzogt. Luxemburg.
Tiefe	547 Meter	696 Meter	671 Meter
Temperatur der Quelle	27,7° C.	33,6° C.	34° C.
Zunahme um 1° C. .	32,6 Meter	26,9 Meter	29,6 Meter.

Fast gleich grofs sind auch die geothermischen Tiefenstufen in den artesischen Brunnen zu Pitzbuhl bei Burg unweit Magdeburg (26 Meter), zu Rouen (29,5 Meter), zu Rüdersdorf bei Berlin (29,9 Meter) und St. André im Dép. Eure (31,0 Meter). Freilich findet sich dieser Grad der Übereinstimmung nicht überall; so beträgt die Temperaturzunahme in einem Bohrbrunnen zu la Rochelle auf 19,7 Meter, zu Artern in Thüringen auf 39,0 Meter 1° C.[2]). Immerhin verhalten sich hier die Extreme der geothermischen Stufen nur wie 1 : 2, nach den Beoachtungen in Schächten hingegen wie 1 : 10. Auch ist es bemerkenswert, dafs die Tiefenstufen in den artesischen Brunnen durchschnittlich kleiner sind als diejenigen, welche in den Schächten gefunden worden sind; denn die Gröfse für erstere ist im Mittel = 30, für letztere = 50 Meter.

Wir haben in dem vorhergehenden die Voraussetzung gelten lassen, dafs die Temperatur gleichmäfsig mit der Tiefe, also nach einer arithmetischen Progression zunimmt, eine Voraussetzung, welche für die uns erreichbaren Tiefen im allgemeinen richtig ist, aber doch bereits unrichtig zu werden beginnt, wenn es sich um sehr grofse Tiefen handelt. Hier ist die Temperaturzunahme meistens eine entschieden verzögerte. So haben die Beobachtungen im Scherginschacht zu folgenden Ergebnissen geführt[3]):

[1]) Ausland 1867, S. 48.
[2]) Vgl. C. F. Naumann, l. c. Bd. I, S. 42.
[3]) A. Th. v. Middendorff, l. c. Bd. I, Teil 1, S. 174.

Tiefe	Temp.	Gröfse der geothermischen Stufe für 1° C. in der Tiefe von
20 engl. F. (6,1 Meter)	— 10,15° C.	
50 „ „ (15,2 „)	— 8,26° C.	20 - 50 engl. F. 15,9 engl. F. (4,8 Meter)
100 „ „ (30,5 „)	— 6,52° C.	50—100 „ „ 28,7 „ „ (8,7 „)
150 „ „ (45,7 „)	— 5,80° C.	100—150 „ „ 69,4 „ „ (21,2 „)
200 „ „ (61,0 „)	— 4,85° C.	150—200 „ „ 52,6 „ „ (16,0 „)
250 „ „ (76,2 „)	— 4,17° C.	200—250 „ „ 73,5 „ „ (22,4 „)
300 „ „ (91,4 „)	— 3,89° C.	250 - 300 „ „ 178,6 „ „ (54,4 „)
350 „ „ (106,7 „)	— 3,41° C.	300—350 „ „ 104,2 „ „ (31,8 „)
382 „ „ (116,4 „)	— 3,00° C.	350—382 „ „ 78,0 „ „ (23,8 „)

Allerdings zeigen die Stufen zwischen 100 und 150, 250 und 300, 350 und 382 engl. Fuſs Tiefe Anomalien; doch müssen wir auf solche schon von vorn herein gefaſst sein, da bei derartigen Messungen störende Einflüsse niemals ganz beseitigt werden können. Speciell für den Scherginschacht wurden dieselben bereits in Nota 3 auf S. 201 angedeutet.

Besser stimmen folgende Temperaturen überein, welche Dunker für das Bohrloch von Sperenberg ermittelte[1]).

Tiefe	Beob. Temp.	Gröfse der geothermischen Stufe für 1° C. in der Tiefe von
85 rheinl. F.[2]) (26,7 M.)	9,0° C.	
1000 „ „ (313,9 „)	23,2° C.	85—1000 rheinl. F. 64,4 rheinl. F. (20,2 M.)
2000 „ „ (627,7 „)	33,0° C.	1000—2000 „ „ 102,0 „ „ (32,0 „)
3000 „ „ (941,6 „)	43,0° C.	2000—3000 „ „ 100,0 „ „ (31,4 „)
4042 „ „ (1268,6 „)	48,1° C.	3000—4042 „ „ 204,3 „ „ (64,1 „)

Doch kommen auch hier auſser der geringen Anomalie in der dritten Stufe innerhalb kleinerer Abstände beträchtliche Abirrungen von dem allgemeinen Gesetze vor.

Die Beobachtungen in den artesischen Brunnen lassen ebenfalls das Wachstum der geothermischen Tiefenstufen nach unten erkennen; doch ändert sich auch hier die Temperaturzunahme nicht nach einem mit hinreichender Schärfe hervortretenden Gesetz, wie die nachstehende Tabelle zeigt.

[1]) Dunker, l. c. S. 336. 337.

[2]) Tiefe der invariablen Schicht.

Tiefe		Beob. Temp.	Gröfse der geothermischen Stufe für 1° C. in der Tiefe von		
Bohrbrunnen von la Grenelle in Paris.					
86* Par. F.[1]	(27,9 M.)	11,82° C.*			
763 „ „	(247,9 „)	20,00 „	86— 763 Par. F.	82,8 Par. F.	(26,7 M.)
1231 „ „	(399,9 „)	23,75 „	763—1231 „ „	124,8 „ „	(40,5 „)
1555 „ „	(505,1 „)	26,43 „	1231—1555 „ „	120,9 „ „	(39,3 „)
1684 „ „	(547,0 „)	27,70 „	1555—1684 „ „	101,6 „ „	(33,0 „)
Bohrbrunnen von Rüdersdorf bei Berlin.					
80* Par. F.	(26,0 M.)	8,50° C.*			
380 „ „	(123,4 „)	17,12 „	80—380 Par. F.	34,8 Par. F.	(11,3 M.)
655 „ „	(212,8 „)	19,75 „	380—655 „ „	104,6 „ „	(34,0 „)
880 „ „	(285,9 „)	23,50 „	655—880 „ „	60,0 „ „	(19,5 „)
Bohrbrunnen von Neusalzwerk in Westfalen.					
80* Par. F.	(26,0 M.)	8,7° C.*			
580 „ „	(188,4 „)	19,7 „	80— 580 Par. F.	45,5 Par. F.	(14,8 M.)
1285 „ „	(417,4 „)	27,5 „	580—1285 „ „	90,4 „ „	(29,4 „)
1935 „ „	(628,6 „)	31,4 „	1285—1935 „ „	166,7 „ „	(54,1 „)
2144 „ „	(696,5 „)	33,6 „	1935—2144 „ „	95,0 „ „	(30,9 „)

Aus den angeführten Beispielen geht insbesondere zweierlei hervor:

1. Von der invariablen Schicht angefangen nimmt die Temperatur nach dem Erdinnern zu und zwar zunächst ziemlich gleichmäfsig. Lokale Umstände bewirken bald eine Vergröfserung, bald eine Verkleinerung der geothermischen Tiefenstufe; in runder Mittelzahl darf dieselbe auf etwa 33 Meter (100 Par. Fufs) veranschlagt werden.

2. In gröfserer Tiefe wachsen die geothermischen Stufen, oder — was dasselbe ist — die Wärmezunahme erfolgt unten weniger rasch als oben, wie wenn man sich weiter nach dem Erdinnern zu Räumen höherer, aber endlich konstanter Temperaturen nähert.

Die Richtigkeit des zweiten dieser beiden Sätze hat Bischof durch ein Experiment in überzeugender Weise dargethan. Er liefs eine grofse Kugel von 73,8 Centimeter Durchmesser aus geschmolzenem Basalt herstellen und fand 48 Stunden nach dem Gusse folgende, um die Temperatur der umgebenden Luft verminderte Wärmegrade:

im Mittelpunkte	191,9° C.
12,2 Centimeter vom Mittelpunkte	170,0 „
18,3 „ „ „	156,1 „
24,4 „ „ „	137,2 „

Das Wachstum der thermischen Stufen nach dem Innern ist hier nicht zu verkennen. In der äufseren Hälfte des Halbmessers von

[1]) Die mit * bezeichneten Zahlen (Tiefe der invariablen Schicht und mittlere Jahrestemperatur der betreffenden Orte, für Paris Tiefe und Temperatur der Caves de l'Observatoire) sind Werte, welche wir zur Berechnung der geothermischen Stufen interpoliert haben.

24,4 Centimeter beträgt die Wärmeabnahme 32,8 ° C., in der inneren Hälfte 21,9 ° C.; somit ist die Tiefe für 1 ° C. Wärmeabnahme im ersten Falle = 3,72 Millimeter, im zweiten = 5,57 Millimeter. Teilen wir denselben Halbmesser in vier gleiche Stücke, so ist die Temperaturabnahme, wenn wir von aufsen nach innen gehen, im ersten Viertel = 18,9 ° C., im zweiten = 13,9 ° C.; demnach sind die Tiefenstufen = 3,23 und 4,39 Centimeter. Ist die Erde ein mit hoher Eigenwärme erfüllter Körper, — und diese Voraussetzung ist zweifellos richtig — so darf man annehmen, dafs ihre Abkühlung durch Wärmeleitung und Wärmeausstrahlung nach denselben Gesetzen erfolgt ist und noch erfolgt wie die jener Basaltkugel [1]).

Somit ist die Annahme gänzlich zu verwerfen, dafs schon in einer Tiefe von 3300 Metern (c. $^5/_{12}$ geogr. Meilen) das Wasser nur in Dampfform und in einer Tiefe von 6 geogr. Meilen bereits der Basalt in geschmolzenem, feuerflüssigem Zustande vorkomme. Eine derartige Behauptung ist nicht blofs deshalb unhaltbar, weil sich der Siede- wie der Schmelzpunkt der Elemente mit dem steigenden Drucke erhöht, sondern auch weil die geothermischen Stufen mit der Tiefe wachsen. Sollte zumal das Erdinnere eine glutflüssige Masse sein (vgl. hierzu den Abschnitt: die Kant-Laplacesche Hypothese und die Glutflüssigkeit des Erdinnern), so könnte von dem Rande derselben bis zum Erdinnern schon deshalb keine wesentliche Temperatursteigerung mehr stattfinden, weil die eintretenden Temperaturdifferenzen rasch durch Strömungen wieder ausgeglichen würden.

Übrigens ist die Eigenwärme der Erde keine konstante Gröfse; sie nimmt vielmehr wie vom Anfang an so auch jetzt noch beständig ab. Doch ist die Wärmemenge, welche gegenwärtig aus dem Erdinnern zur Oberfläche aufsteigt, verschwindend klein. Sie vermöchte innerhalb eines Jahres eine um die Erde gelegte Eishülle von nur 6,8 Millimeter Dicke zu schmelzen, während die Summe der Wärme, welche die Sonne jährlich der Erde zusendet, ausreichen würde, eine Eisrinde von 30,8 Meter Mächtigkeit in Wasser zu verwandeln [2]). Würde uns einmal infolge gänzlicher Erkaltung des Erdkörpers die planetarische Wärmequelle völlig entzogen, so würden die mittleren Temperaturen an der Erdoberfläche nur um $^1/_{30}$ ° C. sinken. Es würde also von dieser Seite her dem organischen Leben auf Erden keine Zerstörung drohen, wenn nicht mit der Erkaltung unseres Planeten eine Aufsaugung des Luftkreises verbunden wäre (vgl. S. 56. 109).

[1]) Gustav Bischof, Die Wärmelehre des Innern unsers Erdkörpers. Leipzig 1837. S. 505.

[2]) A. Secchi, Die Sonne. Übersetzt von H. Schellen. Braunschweig 1872. S. 582.

IV. Der Vulkanismus.

Ein Vulkan ist ein mehr oder weniger flacher Kegel, der durch einen Kanal mit den Tiefen der Erde verbunden ist oder wenigstens verbunden war und gasförmigen, wie festen, vor allem aber glutflüssigen Massen als Ausgangspunkt dient oder früher gedient hat[1]).

Nach K. v. Seebachs Vorgange[2]) unterscheidet man geschichtete und homogene Vulkane. Geraten die aus dem Erdinnern empordringenden glutflüssigen Massen mit dem in gröfsere Tiefen hinabgesickerten Wasser in Konflikt, so ereignen sich gewaltige Explosionen, und die emporgeschleuderten Aschen und Lapilli gewähren reiches Material zum Aufbau eines geschichteten (oder Strato-)Vulkans. Kommen hingegen die glutflüssigen Massen nicht mit gröfseren Wassermengen in Berührung, so steigen sie ruhig, d. h. ohne den Einflufs explosiver Gewalten empor und breiten sich, an der Mündung des Kanals angelangt, deckenartig aus oder bilden glockenförmige Kegel: die homogenen Vulkane. Spricht man schlechtweg von Vulkanen, so pflegt man gewöhnlich Stratovulkane unter dieser Bezeichnung zu verstehen; ihnen gelten auch in erster Linie die nachfolgenden Betrachtungen.

Die äufsere Gestalt eines Stratovulkans ist die eines an seinem Gipfel abgestumpften Kegels. Auf dem höchsten Teile befindet sich meist eine von jäh abfallenden Wänden umschlossene, trichterförmige Vertiefung: der Krater. Er trägt an seiner tiefsten Stelle einen kleinen, aus vulkanischen Aschen bestehenden Kegel, den sogenannten Aschenkegel, in welchen der aus der Tiefe emporsteigende Kanal mündet.

[1]) Hermann Credner, Elemente der Geologie. 3. Aufl. Leipzig 1876. S. 124.

[2]) Vorläufige Mitteilung über die typischen Verschiedenheiten im Bau der Vulkane und über deren Ursache. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XVIII (1866), S. 643—647.

Nicht selten erscheint die schüsselartige Form des Kraters zerstört. Diese Verletzung wird namentlich dadurch herbeigeführt, daſs die in dem Krater sich ansammelnde Lava gewaltsam eine Wand desselben einreiſst oder einschmilzt und sich nun durch die gewonnene Öffnung einen Weg bahnt. Daher giebt es zahlreiche Vulkane mit einseitig geöffnetem Eruptionskrater, deren Gestalt demnach der eines Hufeisens ähnelt. Ein solches Bild gewähren uns die Inseln Santorin, St. Paul und Neu-Amsterdam (die beiden letzteren im Indischen Ocean) u. a. Verschiedene Gipfel der Eifel, der Auvergne, der alte Vesuvkrater, die Somma, sowie eine gröſsere Anzahl der parasitischen Kegel des Ätna zeigen ebenfalls hufeneisenförmige Krater.

Viele Vulkane besitzen übrigens auſser dem meist centralen Hauptkrater noch andere auf dem Abhange des Berges gelegene gröſsere oder kleinere Krater mit dazu gehörigen Kegeln. So haben der Pic von Teneriffa und der Mauna Loa zwei Hauptkrater, und am Ätna sind 700, am Vesuv 30 kleinere Eruptionsschlünde gezählt worden. An anderen Stratovulkanen wieder vermissen wir einen eigentlichen Krater; die Eruptionen erfolgen hier aus Spalten an den Abhängen der Kegel, so am Groſsen Ararat, am Antisana in Südamerika und anderwärts.

Was die Entstehung der Vulkane anlangt, so betrachteten die älteren Geologen jeden vulkanischen Kegel als das Resultat einer Anhäufung von Auswurfsprodukten um die Ausmündung des aus der Tiefe herauffführenden Schlotes. Dieser älteren Annahme gegenüber vertrat L. v. Buch nachstehende Theorie [1]: Bildete sich unter horizontal liegenden Schichten ein bis zum glutflüssigen Erdinnern hinabreichender Spalt, so drangen aus dem hocherhitzten unterirdischen Herde Dämpfe von groſser Spannkraft empor und bewirkten eine glocken- oder blasenförmige Auftreibung der Erdrinde. Öfter blieb es hierbei. Unter günstigen Verhältnissen jedoch öffnete sich bei wachsender Spannung der Glockenberg an seinem Gipfel, und dieser stürzte nun, wenn das erhobene Krustengewölbe nicht angefüllt und auſserdem vielleicht stark zerklüftet war, so daſs es sich nicht selbst tragen konnte, mit dem oberen Teile des Berges in die „hohle Achse der Erhebung“ hinab. Die cirkusartigen Reste der Aufblähung nannte

[1]) L. v. Buch: Über basaltische Inseln und Erhebungskrater in den Abhandlungen d. Kgl. Akademie d. W. zu Berlin v. J. 1818 und 1819, S. 51—68. — L. v. Buch, Physikalische Beschreibung der Canarischen Inseln. Berlin 1825. S. 295. Vielleicht hat Alexander v. Humboldt die erste Anregung zu der Buchschen Theorie gegeben; wenigstens findet sich eine dem entsprechende Andeutung in der Beschreibung des mexicanischen Vulkans Jorullo: Essai politique sur la Nouvelle Espagne. Paris 1811. Tome I, p. 251.

L. v. Buch Erhebungskrater. Erst nach diesem Vorgang bildete sich meist mitten im Schoſse jenes Cirkus durch Aufschüttung von Asche und Lapillis der sogenannte Auswurfskegel. Übrigens giebt es nach L. v. Buch auch Erhebungskrater ohne Aufschüttungskegel und wiederum Auswurfskegel an Stellen, wo keine Erhebungskrater zu sehen sind.

Auf die Entstehung einer solchen Glockenform, die eines uneröffneten Berges, passen Ovids Worte[1]) über das groſse vulkanische Naturereignis auf der Halbinsel Methone (jetzt Methana, südwestlich von Ägina): „Die Gewalt der in finsteren Erdhöhlen eingekerkerten Winde treibt, eine Öffnung vergebens suchend, den gespannten Erdboden auf (extentam tumefecit humum), wie wenn man eine Blase oder einen Schlauch mit Luft anfüllt.“ Die aristotelische Erzählung von dem vulkanischen Ereignis auf Hiera (jetzt Volcano, eine der Liparischen Inseln) führt noch einen Schritt weiter, indem hier „der unterirdische, mächtig treibende Hauch (*πνεῦμα*) zwar ebenfalls einen Hügel erhebt, ihn aber später zum Erguſs eines feurigen Aschenregens aufbricht“ [2]). So hat also die Buchsche Theorie auch die klassischen Autoren auf ihrer Seite. Sie fand, von A. v. Humboldt und Elie de Beaumont unterstützt, in Deutschland überall Anklang, und jeder schwur auf der Meister Worte.

Als sich der Geolog Dana im Jahre 1840 mit dem Studium der phlegmatischen Vulkane auf den Sandwichinseln beschäftigte, regten sich in ihm lebhafte Bedenken gegen die Buchsche Lehre[3]). Vor allem aber zeigte Junghuhn durch seine zahlreichen Untersuchungen auf Java[4]), daſs alle jene sogenannten Erhebungskrater aus Lavaergüssen und Auswurfsprodukten bestehen, welche sich nach und nach um die Eruptionsöffnung angesammelt und einen kegelförmigen Bau hergestellt haben. Zu dieser Ansicht bekannten sich auch (zum Teil schon vor Dana) Scrope, Sir Charles Lyell, Hartung, F. v. Hochstetter, und jetzt folgen ihr die meisten Geologen. Nach ihrer Anschauung, die sich eng an die ältere Ansicht anschlieſst, ist die ringförmige Umwallung des inneren Eruptionskegels und Kraters auf den Einsturz eines früher noch höher aufgetürmten Aufschüttungskegels zurückzuführen, dessen Cirkus sich allmählich erweiterte, indem

[1]) Metamorph. XV, 296—306.

[2]) Aristot. Meteor. II. 8, 17—19. Vgl. A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 273.

[3]) James Dana, U. St. Explor. Exped. Geology. New-York s. a. p. 369.

[4]) Franz Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart. Übersetzt von J. K. Haſskarl. Leipzig 1852—1854. Bd. II, S. 606—614.

sich seine Wände abblätterten. Während sich dieser Prozess vollzog, bildete sich vielleicht durch wiederholte Ausbrüche in seinem Innern ein neuer Kegel. Somit verdienen die sogenannten Erhebungskrater eigentlich den Namen Einsturzkrater. Sie sind nichts anderes als mächtige Anhäufungen von ehemals flüssigen Laven, Aschen, Schlacken und anderen Auswürflingen um den Mund des aus der Tiefe emporsteigenden Kanals. Schon die Pinie. d. i. die zur Zeit des Ausbruches über dem Vulkan schwebende Aschenwolke, verrät uns bei Windstille den künftigen Kegelberg, welchen sie mitaufrichten hilft, da sie in der Mitte viel mächtiger ist als an den Rändern.

Gegen die Buchsche Theorie läfst sich zunächst die Thatsache anführen, dafs den Vulkanen die Erhebungskrater nicht selten ganz fehlen und dafs man noch nirgends einen sogenannten Erhebungskrater gefunden hat, der nicht selbst aus vulkanischem Material bestände. So werden vier Fünftel von der Oberfläche der Insel Java von sedimentären Schichten gebildet, die der letzten Tertiärperiode angehören und eine sehr grofse Mächtigkeit besitzen. Und doch begegnet man in keinem Teile der Insel einer Spur von sedimentärem Gestein auf dem Gehänge der vulkanischen Kegel. Dieses endigt überall am Fufse und oft in bedeutender Entfernung von den Vulkanen, wo es in der Regel schroffe Wände darstellt, welche den Kegeln entgegenblicken. Die Vulkane erscheinen demnach als kleine hutförmige Inseln auf tertiärem Gebiete [1]).

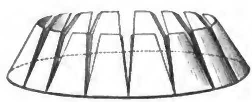
Ferner spricht gegen die Buchsche Theorie der sehr wichtige Grund, dafs man nirgends, wo sich die älteren, nichtvulkanischen Gesteine nahezu bis an eine Eruptionsöffnung heran beobachten liefsen, eine Spur einer lokalen und concentrischen Erhebung oder Schichtenaufrichtung gefunden hat. So verharren in der Eifel die Grauwackenschichten in unveränderter Stellung bis zum Kraterrand und zwar bei Vulkanen und Maaren [2]). Ebenso ruhen die zahlreichen Eruptionskegel unweit des Waitemata- und Manukau-Hafens (zur Nordinsel von Neuseeland gehörig) nach v. Hochstetters Bericht auf der Basis horizontaler Bänke tertiärer Sandstein- und Thonmergelschichten [3]), und entdeckt man auch hie und da örtliche Störungen und mehr oder weniger beträchtliche Verwerfungen in dem tertiären Grundgebirge, so ist doch nirgends eine gewölbartige Auftreibung um einen mittleren Eruptionspunkt bemerkbar. Ferner vermifste Junghuhn auf Java jegliche Aufrichtung der Bänke, wie sie L. v. Buch forderte [4]), und

[1]) Junghuhn, l. c. Bd. II, S. 612 ff.
[2]) B. v. Cotta im Ausland 1865, S. 246.
[3]) Ferd. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 86.
[4]) Junghuhn, l. c. Bd. II, S. 611.

Emil Tietze beobachtete in der ganzen Umgebung des Vulkans Demawend dieselbe Streichung der Schichten wie in anderen Teilen des Elbursgebirges; die Tektonik des letzteren blieb also durch die Entstehung des Vulkans völlig unberührt [1]). Es würde auch schwer zu begreifen sein, wie ein Lavagang von 30 bis 60 Meter Dicke beträchtliche Änderungen in der inneren Architektur einer starren, viele Meilen dicken Erdkruste hervorzubringen vermöchte. Die Vulkane sind eher eine Folge grofser Verwerfungen als Ursache derselben.

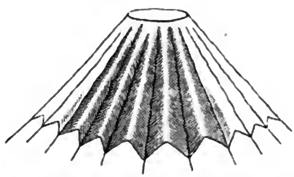
Aus L. v. Buchs Annahme, dafs ein centraler Stofs oder der Druck von Dämpfen eine kreisförmige Bodenfläche zu einem rasch emporstrebenden Kegel umgestaltet, ergiebt sich, dafs dieser in Splitter gespalten wird, welche sich nach oben zu immer weiter von einander entfernen. Zwischen ihnen aber müfsten sich wie bei einer zerbrochenen Fensterscheibe Risse speichenförmig von der Durchbruchsstelle ausbreiten (Fig. 26); jeder Erhebungskrater würde demnach einem Mauerring mit Zinnen gleichen. Wirklich finden sich auch jene Schluchten vielfach, namentlich an den Kratern erloschener oder schwach thätiger Vulkane; sie führen den spanischen Namen Barrancos. Ursprünglich beriefen sich die Anhänger der Erhebungstheorie mit Nachdruck auf diese Bildungen; spätere Untersuchungen aber zeigten, dafs diesem Argument kein Gewicht beigelegt werden könne. Wären nämlich die Barrancos durch einen plötzlichen Stofs aus den Tiefen der Erde entstanden, so müfsten sie am Kraterrande sehr tief und breit, am Fufse des Berges aber seicht und schmal sein. Sie sind jedoch im Gegenteile seicht und schmal am Kraterrande, aber tief und breit gegen die Basis des Kegels hin (Fig. 27). Auch werden sie nach unten zu immer zahlreicher und sind durch Nebenrinnen vielfach mit einander verflochten. Die Barrancos werden offenbar durch die gewaltigen Giefsbäche ausgefurcht, welche die mit den vulkanischen Eruptionen verbundenen

Fig. 26.



Schematische Darstellung der Spalten an einem Vulkan nach der Buchschen Theorie.

Fig. 27.



Der wirkliche Charakter der Schluchten an einem Vulkan.

[1]) Jahrbuch der K. K. geolog. Reichsanstalt. Bd. XXVIII (1878), S. 186 ff.

Gewitterregen erzeugen (vgl. S. 235); sie sind also ein Werk der Erosion und dürfen demnach in dem Streit über die Entstehung der Vulkane nicht zu Rate gezogen werden.

Gegen die Aufschüttungstheorie, welche wir vertreten, hat E. de Beaumont folgenden Einwand geltend gemacht[1]: Ein Lavastrom könne auf einem Abhange, welcher 5° oder stärker geneigt sei, nie eine zusammenhängende Masse, eine Schicht bilden, sondern auf seinem Wege nur einzelne Schlacken zurücklassen. Erst bei einer Neigung von 3° könnten Lavaströme erstarren und zu mächtigen Gängen werden. Da nun der Abhang der meisten vulkanischen Kegel eine Neigung von 20 bis 40° habe und fast überall Lavaschichten diese Neigung teilen, so könnten sie nicht von Anfang an diese Lage besessen haben, sondern müfsten erst durch Erhebung der centralen Teile in diese schräge Stellung versetzt worden sein.

Dieser Annahme E. de Beaumonts sind folgende Thatsachen günstig: Am 12. August 1805 schofs die Lava mit Windesschnelle von dem Vesuv herab und legte in den ersten vier Minuten 3 Miglien (= $^3/_4$ geogr. Meile) zurück. Der Strom von 1776 hatte eine mittlere Geschwindigkeit von $2^1/_4$ Meter in der Sekunde. Ein Strom des Mauna Loa gelangte in zwei Stunden 15 englische Meilen (= 3 geogr. M.) weit[2]. Würden sich alle Lavaergüsse in so ungestümer Weise vollziehen, so wären die erstarrten Lavabänke an steilen Abhängen der Vulkane für die Vertreter der Aufschüttungstheorie eine rätselhafte Erscheinung.

Eine derartige Beweglichkeit der Laven gehört jedoch zu den Seltenheiten. Vor allem ist hier darauf hinzuweisen, dafs sich die Geschwindigkeit, mit welcher ein Lavastrom vorrückt, nicht durch eine einfache Formel ausdrücken, keinesfalls aber allein aus der Neigung der Gehänge ableiten läfst. Sie ist vielmehr bedingt durch die Temperatur der Lavamasse (je erhitzter diese ist, um so rascher eilt sie vorwärts), durch die Qualität der geschmolzenen Erden, durch die Quantität der nachdrängenden Massen, durch die Neigung und Beschaffenheit des Untergrundes. Man hat Laven beobachtet, welche ebenso flüssig waren wie Wasser, aber auch solche, welche mehrere Stunden lang die Löcher bewahrten, die man mit Stäben hineinstiefs (das letztere gilt von der Lava, welche dem Vesuv im August 1832 entquoll). Es fehlt daher auch nicht an Zeugnissen für ein aufserordentlich langsames Vordringen der Lavaströme. Der zuletzt erwähnte

[1] Vgl. C. W. C. Fuchs, Die vulkanischen Erscheinungen der Erde. Leipzig 1865. S. 142 ff.

[2] Fuchs, l. c. S. 309.

legte in zwei Stunden nur einen Weg von 2 Metern zurück. Im Oktober 1822 wälzte sich ein Strom bei Resina innerhalb einer Stunde ebenfalls nur $1\frac{2}{3}$ bis 2 Meter vorwärts. Ferner erzählt Dolomieu von einem Strome, der zwei Jahre beständig in fortschreitender Bewegung war und doch nur 3800 Meter weit in dieser Zeit gelangte; die tägliche Ortsveränderung der Lavateilchen betrug demnach im Durchschnitt nur 5,2 Meter.

Fig. 28.



Flaschenförmige Lavasäule von 13 Meter Höhe am Mauna Loa (nach Dana).

Ist die Lava so zähflüssig wie in den zuletzt angeführten Fällen, so kann sie selbst auf dem Wege über relativ steile Abhänge verhärten. Nach Dana[1]) erstarrt die Lava der Sandwich-Vulkane bisweilen auf Abhängen mit 20 bis 40° Neigung. Der Lavastrom, welcher 1855 aus dem Vesuv floſs, kam zum Stillstand, während er sich über einen um 30° geneigten Abhang ergoſs. Dana giebt sogar eine Zeichnung einer wirklich flaschenförmigen Lavasäule von 13 Meter Höhe an der Flanke des Mauna Loa (Fig. 28). Ein quellenartiger

[1]) U. St. Explor. Exped. Geology. p. 356.

Lavastrom stieg hier senkrecht empor, und indem die übereinander sich erhebenden Wellen oder Strahlen der zähen Masse allmählich erkalteten, entstand eine frei aufgerichtete Lavasäule. Demnach ist die Lava bisweilen von solcher Zähflüssigkeit, dafs sie selbst in einer völlig vertikalen Position oder unter einem Winkel von 90 Grad verharren kann. Am Mauna Loa finden sich sogar viele derartige Lavakegel.

Die Folgerungen, welche E. de Beaumont an die Existenz stark geneigter Lavaschichten knüpfte, dürfen wir um so mehr zurückweisen, als von ihm und seinen Zeitgenossen, wie dies leider auch jetzt noch so häufig geschieht, die Neigung der Berggehänge bedeutend überschätzt wurde. Hierzu trugen nicht wenig die Bilder von amerikanischen Vulkanen bei, welche A. v. Humboldt aus der Neuen Welt nach Europa brachte und in seinen „Vues des Cordillères", sowie in den „Umrissen von Vulkanen aus den Cordilleren von Quito und Mexico" (Atlas zu A. v. Humboldts „Kleineren Schriften") veröffentlichte. Nach A. v. Humboldts Zeichnung, welche G. A. v. Klöden in seinem Handbuche der physischen Geographie (2. Aufl. S. 135) kopierte, haben z. B. die Abhänge des Vulkans Cotopaxi eine Neigung von fast 55°! Würden dann nicht alle Auswürflinge an den steilen Rändern hinabgerollt sein? Und wie wäre es dann möglich gewesen, dafs Boussingault und Hall im Jahre 1831 auf den Gehängen des Eruptionskegels bis zu einer beträchtlichen Höhe gelangten und dafs W. Reifs im Jahre 1872 sogar den Gipfel dieses gewaltigen Vulkans erreichte? (Bekanntlich wird schon bei einem Neigungswinkel von 32° selbst für geübte Bergsteiger das Vorwärtskommen schwierig, bei einer Neigung von 40° aber ganz unmöglich.) In der That ist sowohl durch photographische Aufnahmen, ausgeführt durch Winslow im Jahre 1864, als auch durch wiederholte Messungen der mittlere Neigungswinkel des Kegels neuerdings auf 29° reduziert worden[1]) (vgl. hierzu das beifolgende richtige Cotopaxibild, Fig. 29). Stärkere Neigungen, wie die des Fuji-no-yama in Japan (25 bis 30° oberhalb der Grenze des Holzwuchses)[2]), des Demawend (28°), des Vesuvkegels (31°), des Izalco in Centralamerika (35°), des Gunung-Sumbing auf Java (37°) oder gar der Kliutschewskaja Sopka auf Kamtschatka (38°) und des Kumagatake in Japan (40°) dürften wohl zu den gröfsten Seltenheiten gehören.

Hingegen treten uns äufserst flache, schildförmige Erhebungen des Bodens in den grofsen Vulkanen von Hawaii, dem Mauna Loa und

[1]) Moriz Wagner, Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 515. 516.

[2]) Vgl. hierzu das genaue, von J. Rein entworfene Profil des Fuji-no-yama in Petermanns Mitteilungen 1879, S. 372.

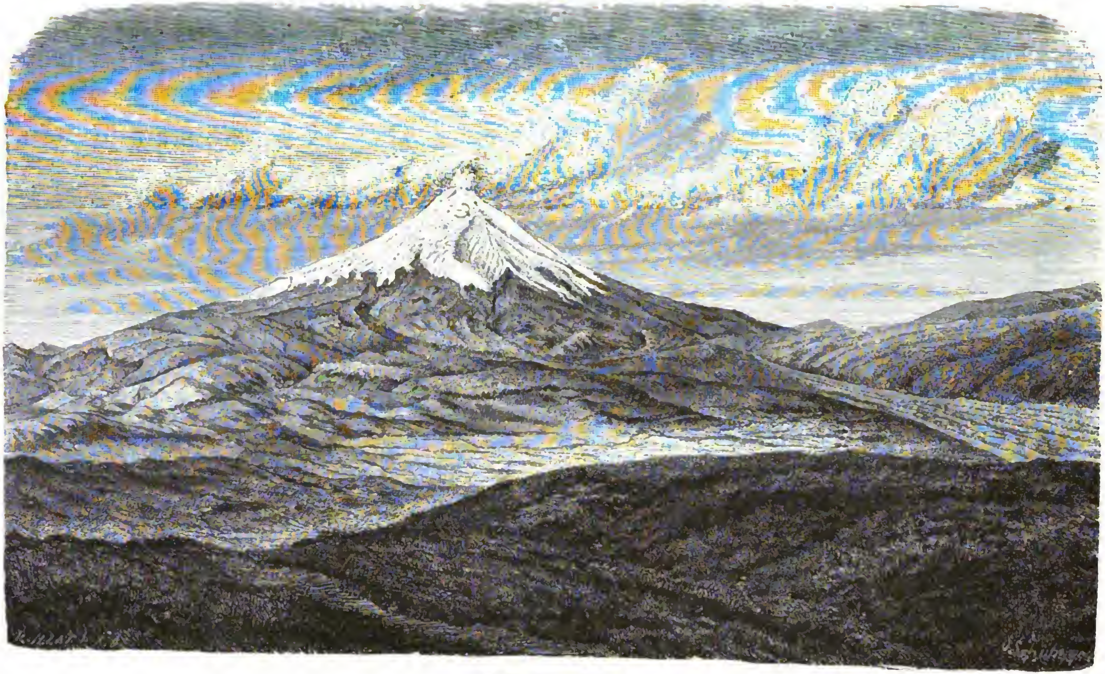


Fig. 29. Der Cotopaxi.

Mauna Kea, entgegen, deren Neigung bis zur Höhe von 1300 bis 1400 Metern nur 1 bis 5° beträgt, aber auch oberhalb dieser Grenze im allgemeinen unter 15° bleibt.

Einen schlagenden Beweis gegen die Aufblähung von Erdschichten gewährt uns die Entstehung des 134 Meter hohen Monte Nuovo in den Phlegräischen Feldern westlich von Neapel. Dieser Berg wurde innerhalb zweier Tage vom 29. September 1538 Nachts 1 Uhr bis etwa zur gleichen Stunde des 1. Oktober aufgeschüttet, nachdem an den beiden vorhergehenden Tagen die Pozzuolaner von Erdstöfsen beständig geängstigt worden waren. Am dritten Tage nach dem Beginn der Eruption wagte es der beherzte Pietro Giacomo di Toledo bereits, sich auf den „Neuberg" zu begeben und in den Krater hinabzusteigen, wo er noch Lava in einem Kessel kochen sah. An etlichen der nächsten Tage warf der Schlund wieder einige Schlacken aus, jedoch ohne die frühere Heftigkeit, und dann blieb alles ruhig und kalt bis auf den heutigen Tag. Am Fufse des Monte Nuovo befindet sich ein Apollotempel, dessen Mauern noch lotrecht stehen. Hätten die Schichten, auf denen dieses Bauwerk ruht, eine glockenförmige Auftreibung erfahren, so würden die Mauern sicher zum Falle gekommen sein. Das Gleiche gilt von einem Tempel des Pluto am See Avernus, der dem Bereich der vermuteten Aufrichtung noch hätte angehören müssen. Somit kann der Monte Nuovo kein Erhebungskrater sein [1]. Auch die von Augenzeugen gelieferten Berichte über die Entstehung von Nea-Kaimeni (in der Mitte des Ringwalles von Santorin) im Jahre 1707 lassen keinen Zweifel darüber aufkommen, dafs es sich hier um keine Hebung festen Landes, sondern um eine Ansammlung von Eruptionsprodukten handelte [2].

Welche Verschiedenheiten die innere Struktur der Stratovulkane darbietet, hat uns vor allem Ferdinand v. Hochstetter durch seine gründlichen Untersuchungen auf Neuseeland gezeigt [3]. Die Vulkane der Landenge von Auckland sind zwar sämtlich von geringem Wuchs (ihre Höhe beträgt meistens nur 100 bis 200 Meter): aber es sind „wahre Modelle" vulkanischer Kegel, an denen es sich übrigens klarer als irgendwo anders erweisen läfst, dafs das Gerüst der Vulkane nur durch allmähliche Aufschüttung, nicht durch Aufblähung und Einsturz entstanden ist. Nach dem Baumaterial

[1] Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 607—617. Vgl. hierzu: O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausgeg. von J. Löwenberg). Leipzig 1878. Bd. II, S. 531 ff.

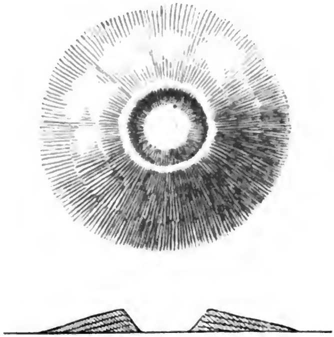
[2] W. Reifs und A. Stübel, Geschichte und Beschreibung der vulkanischen Ausbrüche bei Santorin. Heidelberg 1868. S. 43—58. 191 f.

[3] F. v. Hochstetter, Neuseeland. S. 85—95.

unterscheidet F. v. Hochstetter Tuffkegel, Schlackenkegel, Lavakegel und Kegel von gemischtem vulkanischen Material.

Die Tuffkegel auf dem Auckland-Isthmus (Fig. 30) sind der Zeit ihrer Bildung nach die ältesten. Die ersten Ausbrüche, welche wahrscheinlich unterseeisch auf dem Boden einer seichten und schlammigen, vom Winde wenig bewegten Meeresbucht stattfanden, förderten lose Massen zu Tage, nämlich vulkanische Schlacken und Aschen, sowie Bruchstücke des Grundgebirges und Schlamm des Meeresbodens. Der Haupteruption folgten rasch zahlreiche Stöfse, und die Auswurfsmassen wurden unter dem Einflufs des Meeres zu submarinen Schichten ausgebreitet, welche rings um die Ausbruchsstelle in regelmäfsiger Folge sich über einander lagerten. So bildeten sich niedere, stets sehr flache, höchstens in einem Winkel von 15° ansteigende Hügel: Tuffkegel oder, wenn sie kreisrunde Becken einschliefsen, Tuffkrater.

Fig. 30.



Tuffkegel. Nach F. v. Hochstetter.

Viele der isthmischen Vulkane blieben reine Tuffkegel. Nach Beendigung jener unterseeischen Aufschüttungen von Tuff hob sich die Landenge über das Wasser. Nun wurden die vulkanischen Gerüste aus spröderem Material erbaut: aus Aschen, Schlacken und Lavatropfen, welche in feurig-flüssigem Zustande rotierend durch die Luft flogen und in birnenförmiger Gestalt zu sogenannten vulkanischen Bomben (Lapilli) erkalteten (Fig. 31). Nicht an allen Ausbruchsstellen der ersten Periode drangen auch die Schlacken- und Aschenmassen der zweiten Periode hervor, sondern an vielen Punkten verblieb es bei der ersten Bildung des einfachen Tuffkraters, und die vulkanischen Kräfte bahnten sich in der zweiten Periode neue Wege. In diesem Falle entstand ein sogenannter Schlackenkegel. Wo aber die neuen Ausbrüche der alten Strafse

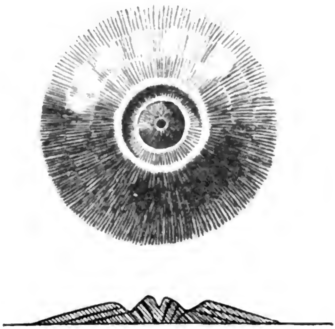
Fig. 31.



Vulkanische Bomben.

folgten, da finden wir Tuffkegel und Schlackenkegel vereinigt (Fig. 32). Über dem flachen Tuffkegel, dessen äufserer Abhang selten steiler als mit 10° Neigung ansteigt, erhebt sich der Aschen- und Schlackenkegel, der aus mehr oder weniger zusammen gebackenen Schlacken, Aschen, Lapillis und Bomben aufgeschüttet ist, mit einem Böschungswinkel von 30 bis 40°. Der Krater am Gipfel dieses Kegels hat, wenn er vollständig erhalten ist, stets eine trichterförmige Gestalt. In dieser Combination von Tuffkegel und einem inselförmig im Tuffkrater sich erhebenden Schlackenkegel hat man das wahre Modell von dem, was Leopold v. Buch Erhebungskrater und Eruptionskegel genannt haben würde.

Fig. 32.

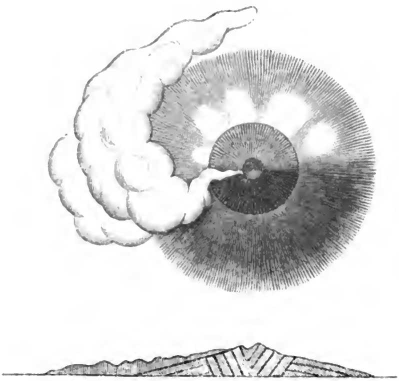


Tuff- und Schlackenkegel. Nach F. v. Hochstetter.

Vielfach folgte dem Auswurf von Aschen und Schlacken noch der Ergufs eines Lavastromes, der den trichterförmigen Krater des Schlackenkegels an einer Seite durchbrach und, über den Ring des Tuffkegels seinen Weg nehmend, am Fufse des Berges sich ausbreitete (Fig. 33). Flofs die Lava reichlicher und wiederholt, so mufste sie zuletzt einen Kegel, gleichsam das Rohr oder das Mundstück des Lavabrunnens, aufbauen. Von den Auckland-Vulkanen gelang dies nur einem: dem Rangitoto. Er ist der höchste (300 Meter) und umfangreichste, der talentvollste unter seinen verkümmerten Brüdern. Der untere Teil dieses Berges, dessen Abhänge nur 4 bis 5° gegen die Horizontale geneigt sind, besteht aus schwarzer Basaltlava, die, deutliche Ströme bildend, am Meere in schroffen Felsriffen endet. Dieser Lavakegel trägt auf seinem Gipfel zwei unter viel steilerem Böschungswinkel (30 bis 33°) sich erhebende Aschen- und Schlackenkegel, von welchen der oberste mit einem wahrscheinlich gegen 60 Meter tiefen trichterförmigen Krater in den Krater des unteren eingesetzt erscheint.

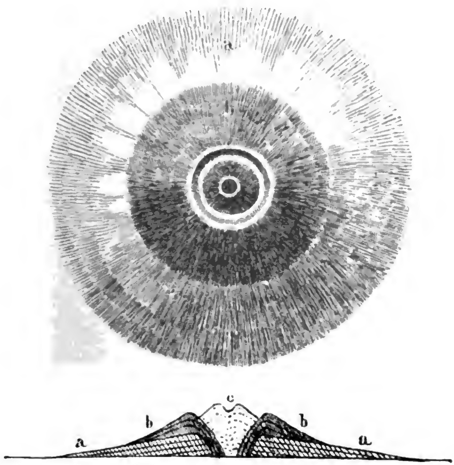
Zur Konstruktion eines vollständigen vulkanischen Kegelsystems gehören nach alledem drei Stücke: ein sanft ansteigender Tuffkegel, welcher den Fufs des ganzen Gerüstes, ein steilerer Lavakegel, welcher die Hauptmasse des Berges, und endlich ein Aschen- und Schlacken-

Fig. 33.



Tuffkegel, Schlackenkegel und Lavastrom. Nach F. v. Hochstetter.

Fig. 34.



Ideale Form eines Kegels von gemischtem vulkanischen Material. a. Tuffkegel. b. Lavakegel. c. Aschen- und Schlackenkegel. Nach F. v. Hochstetter.

kegel, welcher die höheren Regionen mit dem Krater bildet, wie dies die vorstehende Figur 34 veranschaulicht. Übrigens herrscht in der Aufeinanderfolge des verschiedenartigen Materials kein bestimmtes Gesetz. Der eine Vulkan ist in seinem unteren, flacheren Teile aus Lavamassen und im oberen aus lockerem Haufwerk (so der Ätna) zusammengesetzt, während bei einem anderen die Basis aus losem Gesteinsschutt und der Kraterrand aus harter Lava besteht. Es wechseln also zumeist Schichten von ausgeflossenem und ausgeworfenem Material. Indes entbehren manche Vulkane aller gröſseren Lavaflächen; dagegen dürfte es zu den gröſsten Seltenheiten gehören, daſs ein so gewaltiger Kegel wie der Mauna Loa ausschlieſslich aus blasiger Lava erbaut ist.

Rascher als alle anderen Berge gehen die Vulkane ihrem Verfall entgegen. Mannigfache Kräfte sind es, die an ihrer Zerstörung arbeiten, vor allem chemische und mechanische. Aus den zahlreichen Spalten dringen nämlich durch längere Zeiträume hindurch heiſse Wasserdämpfe und Gase, insbesondere Schwefelwasserstoff, schweflige Säure und Chlorwasserstoff empor und zersetzen die Kraterwände. Ferner zernagen die atmosphärischen Wasser auſserordentlich rasch das Gestein und schwemmen es hinweg; es geschieht dies mit um so besserem Erfolge, als das ohnedies lockere Material durch die Wirkung der Gase in den Zustand der Zerbröckelung übergeführt worden ist. Namentlich stürzt am Kraterrande, der jenen zerstörenden Beeinflussungen am meisten zugänglich ist, ein Teil der Kraterwand nach dem andern in die Tiefe hinab, welchen Prozeſs die in der Nähe von Vulkanen häufig eintretenden Erderschütterungen wesentlich fördern. So wird der Schlund des Kraters unablässig erweitert, sein Boden aber beständig erhöht. Hatte der Krater ursprünglich eine Kesselform, so stellt er später eine verhältnismäſsig flache, aber um so breitere, also tellerartige Vertiefung dar, welche von einem verschieden hohen, nach innen zu steil abfallenden ruinenhaften Ringe umschlossen wird. Je gröſser derselbe ist, um so mehr erscheint der kraterähnliche Charakter der Einsenkung verwischt, namentlich dann, wenn dieselbe von einer reichen Vegetation bedeckt wird.

Beispiele für plötzliche Kratereinstürze von ansehnlichen Dimensionen lassen sich in Menge anführen. Der Caraguairazo (Quito) verlor in der Nacht vom 19. zum 20. Juni 1698 infolge eines furchtbaren Erdbebens seinen Gipfel; ein Teil der Kraterwand ward fortgesprengt, so daſs der ursprüngliche Kegel nun die Gestalt einer Doppelpyramide erhielt, welche er bis heutigen Tages bewahrt hat. Auch der Ilinissa (Quito) verdankt seine beiden Hörner nach der Aussage der Eingeborenen einem solchen Einsturz. Früher war derselbe

ein einfacher Kegel, welcher an Höhe den Chimborazo übertroffen haben soll[1]). Am Abhang des Mauna Loa befand sich ursprünglich eine weite Ebene. Dieselbe sank zuerst etwa 32 Meter tief ein, und als später in der Mitte dieser eingesunkenen Fläche sich ein ähnlicher Erdfall ereignete, blieb nur ein ½ Meile breiter Ring übrig. Endlich erfolgte — und zwar wiederum in der Mitte — ein dritter Erdfall von 325 Meter Tiefe, welcher ebenfalls einen ringförmigen Rand übrig liefs und den jetzigen Krater bildete[2]).

Besonders häufig sind Eruptionen von derartigen Vorgängen begleitet, wobei dieselben wohl auf Rechnung der mit den vulkanischen Ausbrüchen verbundenen Erderschütterungen zu bringen sind. Von dem Gipfel des Capac Urcu (Cerro del Altar) erzählen die Eingeborenen des Hochlandes von Quito, dafs er vierzehn Jahre vor dem Einfall von Huayna Capac, dem Sohne des Incas Tupac Yupanqui, nach den Eruptionen, die fortgesetzt sieben bis acht Jahre dauerten, zerstört worden sei[3]). Am 4. Januar 1641 wurde bei einem Ausbruch des Yriga (in der Provinz Camarines auf Luzon) dessen Krater zur einen Hälfte total vernichtet, wobei der malerisch gelegene Buhi-See in 92 Meter Meereshöhe entstand[4]). Der Gunung-Tĕmboro auf Sumbawa verlor durch eine gewaltige Eruption im Jahre 1815 1300 Meter an seiner Höhe, so dafs er gegenwärtig nur noch 2760 Meter hoch ist. Ferner giebt Descloizeau an, dafs der Hekla durch den Ausbruch im Jahre 1845 um 160 Meter niedriger geworden sei[5]).

Bisweilen zieht die Eruption eines Vulkans auch die Zertrümmerung eines Nachbarvulkans nach sich. Am 18. Februar 1854 stürzte bei einem Ausbruch der Kliutschewskaja Sopka plötzlich der Gipfel des nahen Schiwelutsch zusammen, und der Vulkan Unsen (auf der japanischen Insel Kiu-Siu) erlitt im Jahre 1793 nach heftiger Erderschütterung ein gleiches Schicksal zu derselben Zeit, als der Biwono Kubi (ebenfalls auf der genannten Insel) von neuem eine lebhafte Thätigkeit entwickelte[6]).

[1]) Fuchs, l. c. S. 107 f. Nach Moriz Wagner (Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 453), der den Ilinissa bestieg, ist zwar die südliche Spitze desselben kein wirklicher Vulkan, da sich in den höheren Regionen auch keine Spur von einer früheren kraterischen Thätigkeit, nichts von vulkanischer Asche, von Lapillis und Lavaströmen findet. Indes besteht der Nordgipfel des Ilinissa aus mächtigen Lavaströmen (vgl. W. Reifs in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXV (1873), S. 72), und somit ist dieser Berg zweifellos ein Vulkan.

[2]) Fuchs, l. c. S. 341 f.

[3]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 284.

[4]) F. Jagor, Reisen in den Philippinen. Berlin 1873. S. 109.

[5]) Fuchs, l. c. S. 50. 119.

[6]) Fuchs, l. c. S. 325.

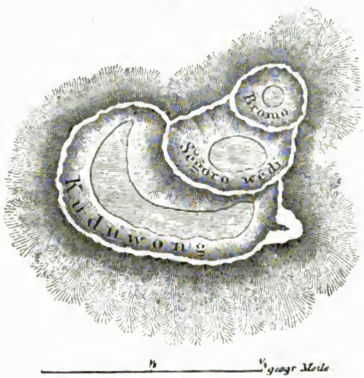
Besonders leicht zu messen sind die Veränderungen, welche sich an dem inneren Schlackenkegel des Vesuvs vollziehen. Das Vesuvgebirge besteht nämlich nach oben hin aus zwei Bergen: aus einem südlichen Kopf, dem eigentlichen Vesuv, in welchem die Krateröffnung liegt, und aus einem halbkreisförmigen Wall, welcher diesen an der Nord- und Nordostseite umgiebt, dem Monte di Somma oder der Somma. Diese wird durch ein sichelförmiges Thal (Atrio del cavallo) von dem eigentlichen Vesuvkegel geschieden. Da die Somma jetzt im wesentlichen in gleichem Niveau über dem Meeresspiegel verharrt, so gewährt sie uns jederzeit einen Mafsstab, die Höhe des Vesuvkegels zu bemessen. Bis zum Jahre 1822 wurde die 1114 Meter hohe Spitze der Somma von dem centralen Schlackenkegel um etwa 130 Meter überragt. Die Eruption am 22. Oktober 1822 führte den Zusammensturz des Kegels herbei, und an seiner Stelle entstand eine 260 Meter tiefe Höhlung. Von 1827 bis 1830 bildete sich ein neuer Kegel, der sich zuletzt 50 Meter hoch über den alten Kraterrand der Somma erhob, 1831 jedoch abermals vernichtet ward. Eine beträchtliche Veränderung erfuhr der Vesuvkegel ferner durch den Ausbruch am 26. April 1872; denn an Stelle der vier kleinen Krater, welche vorher sein Gipfel trug, fanden sich nach dieser Eruption zwei mächtige Krater. Zugleich wurde durch eine gewaltige Explosion an dem genannten Tage früh zwischen 3 und 4 Uhr eine kesselartige Thalschlucht geschaffen, welche vom Gipfel gen Norden bis ins Atrio hinabreicht; die Trümmer dieser Sprengung lagerten sich als hohe Schuttkegel vor den unteren Thalausgang[1]). Die jetzige Höhe des Vesuvs beträgt 1220 Meter.

Verstopft sich der alte Eruptionskanal und bahnen sich die vulkanischen Kräfte dafür an dem Rande oder an den äufseren Abhängen des Kraters einen neuen Ausweg, so verfällt der alte Krater mehr und mehr, d. h. er erweitert und verflacht sich beständig, da die ihn zusammen setzenden Gesteinsmassen zerbröckeln. An der Öffnung des neuen Ausganges aber wird ein neuer Schutt- und Aschenkegel aufgebaut: Lavamassen ergiefsen sich über denselben, und gar bald überragt derselbe den alten Einsturzkrater, während dieser durch einen weit gröfseren Durchmesser vor jenem ausgezeichnet ist. Wird auch der zweite Kanal untauglich und suchen sich infolgedessen die vulkanischen Gewalten nochmals einen neuen Pfad, um nach oben zu gelangen, so ereilt auch den zweiten jüngeren Stratovulkan das Schicksal des ersten, und in ähnlicher Weise kann sich derselbe Prozefs noch mehrfach wiederholen. Im allgemeinen gilt das Gesetz, dafs unter mehreren neben einander liegenden Einsturzkratern die am weitesten

[1]) A. Heim in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXV (1873), S. 25 f. 30.

geöffneten die ältesten und zugleich die niedrigsten sind. Namentlich läfst sich dann das relative Alter sehr leicht bestimmen, wenn die kreisförmigen Ringwälle sich gegenseitig stören; es ist in diesem Falle immer der durchbrechende Kranz jünger als der durchbrochene. Ein schönes Beispiel hierfür finden wir bei Franz Junghuhn[1]): die Krater des Gunung-Tĕnggĕr (Fig. 35). Man erkennt sofort, dafs der äufserste und gröfste von ihnen, der Kuduwong, der älteste ist, also zunächst aufgeworfen wurde, dafs dann der zweite, weniger grofse, der Gunung-Sĕgoro-wĕdi, folgte, da er jenen zum Teil ausfüllt, und zuletzt erst der dritte und kleinste, der G.-Bromo, entstand. Auch im Albanergebirge beobachten wir ähnliche Gruppen von Kratern, in welchen sich zum Teil Seen finden. Vor allen Dingen aber ist die Mondoberfläche der Ort zahlreicher sich gegenseitig durchkreuzender Ringgebirge. Hier liegt sehr häufig ein kleiner Krater auf dem Ringwalle eines grofsen, während ein noch kleinerer auf dem Walle des Parasiten erscheint, so dafs das Ganze einer Reihe von Münzen gleicht, die auf einander gefallen sind. Beispiele hierfür bieten die Ringwälle Stöffler, Hipparch, Maurolicus u. a.

Fig. 35.



Die Krater des Gunung-Tĕnggĕr auf Java.

Durch ihre Struktur wesentlich von den Stratovulkanen unterschieden sind die Maare. Sie besitzen keinen Schlackenkegel, haben auch nie Lavaergüsse gehabt; sie sind nur kesselartige Kratereinsenkungen, welche von einem niedrigen Walle, bestehend aus Tuff und Bomben, umschlossen sind. Ihre Umrisse sind meist kreisrund oder oval. Sind sie tief, so beherbergen sie häufig Seen; sind sie flach, so ist ihr Boden vielfach mit Torf bedeckt.

Über ihre Entstehung herrschen noch verschiedene Ansichten. Sie repräsentieren wahrscheinlich die ersten Anfänge von Vulkanen; sie

[1] Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart. Bd. II, S. 605.

sind embryonenhafte Gebilde, welche, kaum in das erste Stadium ihrer Entwicklung eingetreten, ihre Thätigkeit bereits wieder einstellten. Man denkt sich dieselben durch eine plötzliche, einmalige Explosion entstanden, indem sich hochgespannte Dämpfe oder Gase einen Ausweg bahnten, die darüber liegende Decke zerrissen und das zertrümmerte Gestein in die Luft schleuderten. Deshalb bezeichnet man sie auch als Minentrichter oder Explosionskrater. Den Hauptbeweis dafür, dafs die Maare das Endresultat gewaltiger Explosionen sind, gewähren uns die Tuff- und Steinbrockenlager an ihren Rändern, wie überhaupt die lokalen, mehr oder minder grofsen Ansammlungen von feineren und gröberen Bruchstücken um die Maare herum. Da, wo die Tufffelder horizontal geschichtet erscheinen, mufs ein Verwehen der Auswurfsprodukte durch Orkane und Winde, und da, wo nur geringe Spuren von vulkanischem Sande vorhanden sind, eine Wegwaschung desselben durch die Atmosphärilien angenommen werden; gerade auf jene lockeren Massen konnte die überall thätige Erosion erfolgreich wirken.

Gegen die obige Anschauung über den Ursprung der Maare hat man folgenden Einwand geltend gemacht: Wären die Maare Explosionskrater, so müfsten sich beispielsweise um diejenigen der Eifel aus Brocken des Schiefergebirges zusammengesetzte Wälle aufgehäuft haben, deren Rauminhalt demjenigen der ausgesprengten Terrainkegel völlig entspräche. Nach der früheren Ausfüllung des Hohlraumes forscht man jedoch häufig vergebens. Man hat deshalb die Maare auch auf Einstürze in unterirdische Hohlräume zurückzuführen versucht. Vogelgesang behauptet eine derartige Entstehung von den Maaren der Eifel, Fr. Hoffmann vom Albanersee und Junghuhn von den Maaren des Gunung-Lamongang auf Java. Mögen auch vielleicht einige Maare auf diesem Wege leichter erklärt werden, so erscheint doch diese Annahme nicht für ihre Gesamtheit passend. Das Vorkommen der Maare in lauter vulkanischen Gegenden, ihre regelmäfsige, runde Gestalt, die kreisförmigen Umwallungen aus eckigen Bruchstücken desjenigen Gesteins, in welches sie eingesenkt sind, sowie aus vulkanischen Aschen und Schlacken: dies alles weist darauf hin, dafs sie die embryonischen Anfänge in dem Bildungsprozesse von Stratovulkanen bezeichnen.

Deutschland hat seine Maare im Gebiet der Eifel, namentlich in der Nähe des Laacher Sees, der von manchen selbst für ein Maar gehalten wird. Die bekanntesten sind das Pulvermaar bei Gillenfeld, die Maare bei Daun, Meerfelden, Walsdorf, das Ulmer und Moosbrucher Maar, die beiden Maare von Boos u. a. Ferner finden sich zahlreiche Maare auf dem Plateau der Auvergne. Im Albanergebirge

erfüllen die reizenden Seen von Albano und von Nemi Maare. Aber auch die aufsereuropäischen Erdteile besitzen ihre Maare; denn sie kommen auf den Canarischen Inseln, insbesondere aber auf Java und Neuseeland in reicher Menge vor.

Die Thätigkeit der Vulkane ist keine gleichmäfsige; vielmehr wechseln Perioden grofser Aufregung mit Perioden vollständiger Ruhe ab. Es sollen nun in dem Folgenden diejenigen Erscheinungen dargestellt werden, welche zur Zeit der gröfsten Kraftentfaltung vulkanischer Thätigkeit, d. h. zur Zeit der Eruption zu beobachten sind.

Um den Wirkungen vulkanischer Ausbrüche schon im voraus begegnen zu können, hat man von jeher darauf geachtet, die Vorzeichen zu ermitteln, durch welche sich der Ausbruch eines Vulkans ankündigt. Häufig haben dieselben nur eine lokale Geltung; in keinem Falle aber sind sie untrügliche Vorboten einer Eruption.

Eines der sichersten und allgemeinsten Merkmale eines nahenden Ausbruches sind die Erdbeben, namentlich dann, wenn der Vulkan bis dahin vollkommen ruhig war und die Stöfse in immer kürzeren Perioden wiederkehren. Hiermit ist gewöhnlich ein eigentümliches Geräusch verbunden, ein dumpfes, unheimlich klingendes Rollen und Dröhnen, welches wahrscheinlich eine Folge der Erderschütterungen ist. Doch fehlen auch öfter diese Andeutungen. Die gewaltige Eruption des Vesuvs im Jahre 1855 kam ganz unvermutet; ebenso geben sich die Ausbrüche des Mauna Loa meistens nicht durch Erdbeben zu erkennen. Sogar die grofse Eruption desselben am 11. August 1855 [1]) und die mächtigen Lavaausbrüche in den Jahren 1881 und 1882 [2]) vollzogen sich in dieser Weise.

Das Versiegen der Brunnen erwies sich am Versuv durchaus nicht als ein sicheres Anzeichen für eine bevorstehende Eruption; denn nicht selten blieben die Quellen aus, ohne dafs ein Ausbruch erfolgte, und wiederum fanden Ausbrüche statt, ohne dafs eine Änderung im Wasserstande der Brunnen bemerkt wurde. Trifft beides zusammen, so ist das Verschwinden des Wassers jedenfalls der vermehrten Spaltenbildung, den eintretenden Verwerfungen oder auch der gesteigerten Hitze in den Tiefen zuzuschreiben, welche letztere das Wasser in Dampfform verwandelt und durch neue Öffnungen nach oben drängt. Auch nehmen kurz vor Beginn der Katastrophe bisweilen reine Quellen plötzlich fremde Stoffe in sich auf.

Die wichtigsten Vorboten vulkanischer Eruptionen sind ohne Zweifel die Veränderungen, welche sich auf dem Grunde des Kraters vollziehen.

[1]) Petermanns Mitteilungen 1858, S. 237.

[2]) C. E. Dutton im American Journal of Science. Vol. XXV (1883), p. 222.

Dieser wird nämlich meistens kurz vor dem Ausbruche gehoben, wodurch die Tiefe des Kraters eine Verminderung erfährt. So bestieg Leopold v. Buch unter den Anzeichen eines neuen Ausbruches im August 1804 den Vesuv und ermittelte für den Kraterboden eine Tiefe von 130 Metern unter der niedrigsten Stelle des Randes; 14 Tage später war er schon so weit gestiegen, dafs die Lava über den Scheitel des Kraters hinwegfliefsen konnte. Nach der heftigen Eruption des Vesuvs von 1822 fand Babbage den Boden des Kraterbeckens 286 Meter unter der Punta del Palo, der höchsten, nordwestlichen Spitze des Vesuvs, 140 Meter unter dem tiefsten Ausschnitt des Kraterwalles. 1830 lag er noch 195 Meter unter der Punta del Palo und 50 Meter unter dem tiefsten Ausschnitt. 1832 trat die Lava wieder über den Rand aus.

Da vor einer Eruption die Gesteinsmasse des Berges stark erhitzt wird, so erfolgt nicht selten da, wo Vulkane in die Region des ewigen Schnees emporragen, kurz vor dem Eintritt der Eruption ein gänzliches Abschmelzen der Schneedecke. Dieses Warnungszeichen vor einem Ausbruche gewähren namentlich die Vulkane von Kamtschatka, Island und teilweise von Südamerika. Doch finden bisweilen auch Eruptionen statt, ohne dafs die Schneeumhüllung von den Häuptern der betreffenden Berge weicht.

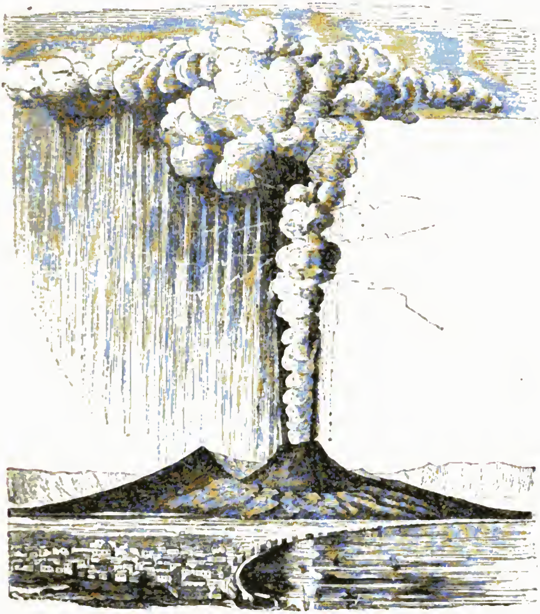
Der vulkanische Ausbruch selbst beginnt mit einem heftigen Stofse, welcher den Berg mächtig erschüttert. Mit furchtbarer Gewalt durchbrechen hochgespannte Dämpfe und Gase die Decke im Eruptionskanal, und Dampfwolken steigen zum Himmel empor. Die Stein- und Aschenmassen, welche den Krater erfüllen, werden in bedeutende Höhen geschleudert; geschmolzene Laven gelangen nach oben und erfüllen den Krater mit ihrer rötlich glühenden Masse. Rasch wiederholen sich, von einem dumpfen Dröhnen begleitet, die Explosionen, und neue, kugelförmig geballte Dampfmassen dringen aus dem Krater empor. Bei ruhiger Luft erheben sie sich senkrecht und mit grofser Gewalt und treiben die darüber befindlichen, bereits sinkenden Dampfkugeln immer höher hinauf. So erreichte am 26. April 1872 die Dampfsäule über dem Vesuv eine Höhe von 5000 Metern [1]). Ist das weitere Wachstum derselben nicht mehr möglich, so nehmen die oberen Dampfmassen die Gestalt einer langgestreckten Wolke an, welche durch die in den oberen Luftregionen herrschenden Winde oft einseitig verweht wird und die mitgeführten Stoffe an den Rändern der Säule, bei starkem Luftzug auch in gröfserer Entfernung von ihr, herabfallen läfst. Wegen ihrer

[1]) A. Heim in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXV (1873), S. 14.

charakteristischen Gestalt bezeichnete man sie in Italien von jeher als Pinie (s. Fig. 36). Sie spiegelt des Nachts die Glutröte der Lavamassen im Krater wieder und verbreitet dann weithin einen Feuerschein. Gase, Wasserdämpfe und feine Teile vulkanischen Staubes sind es, welche die Pinie bilden.

Infolge heftiger Bewegung zeigen sich in der vulkanischen Wolke

Fig. 36.



Ausbruch des Vesuvs im Oktober 1822.

die elektrischen Erscheinungen in ebenso grofsartigem Mafsstabe entwickelt wie in den Gewitterwolken. Blitze durchzucken die Luft, und immerwährende Donner begleiten den heftigen, wolkenbruchartig herabstürzenden Gewitterregen, der oft mehr Schaden anrichtet als die ausgeworfenen Aschen und Schlacken. Bäche und Flüsse, die vorher nicht bestanden, stürzen sich eilenden Laufes die Abhänge des Vulkans hinab und schaffen tiefe Rinnen und Gräben.

Endlich ermattet die Macht der hervordringenden Dämpfe, und das benachbarte Erdreich ist vollständig wieder ausgetrocknet: da entquillt einer Seitenspalte ein Lavastrom und wälzt sich, die Kulturen wie die Wohnstätten der Menschen auf seinem Pfade durch seine fürchterliche Glut vernichtend, die Abhänge des Berges hinab. In der Regel ist damit die furchtbarste Gewalt der Eruption gebrochen.

Übrigens nehmen die Eruptionen nicht immer den geschilderten, Schrecken und Verderben um sich verbreitenden Verlauf; vielmehr fehlt hierbei öfter das eine oder andere der geschilderten Phänomene; ja, manche vollziehen sich sogar in äufserst friedlicher, fast harmloser Weise.

Wasserdämpfe sind als die Hauptkraft zu betrachten, durch welche die vulkanischen Thätigkeiten hervorgerufen werden. Wasserdämpfe zersprengen die Bodendecke des Kraters; sie heben die Lava im Eruptionskanal; sie treiben die vulkanischen Aschen und Schlacken in die Höhe und veranlassen die fürchterlichen meteorologischen Prozesse. Wasserdämpfe verleihen der Lava ihre blasige Struktur, wenn die Erstarrung unter geringem Druck erfolgt, und erzeugen auch die kleinen, sekundären Eruptionen auf den Lavaströmen (s. S. 239); endlich fehlen sie auch im Zustand der temporären Ruhe niemals den Vulkanen.

Die Rauchsäule, welche über dem Krater eines thätigen Vulkans aufsteigt, verwandelt sich des Nachts in eine von helleren, glühenden Streifen durchzogene Feuersäule. Sie ist sicher keine wirkliche Flamme, da sie niemals eine züngelnde Bewegung zeigt und durch keinen Sturmwind aus ihrer Ruhelage gebracht wird. Sie entsteht vielmehr durch Reflexion der Lavaglut im Innern des Kraters an den Millionen von Dampfbläschen der Dampfsäule; auf dem Dunkel der Nacht hebt sich dieser Widerschein in auffallender Weise ab. Die glühenden Aschen und Schlacken tragen jedenfalls auch dazu bei, den Lichteffekt zu erhöhen. Demnach sollten die Ausdrücke „feuerspeiende Berge“ und „Feuerberge“ niemals gebraucht werden.

Wirkliche Flammen, von brennbaren Gasen herrührend, wurden von vielen Beobachtern, so von Sartorius v. Waltershausen, Jul. Schmidt, Spallanzani, Gay-Lussac u. a. gänzlich in Abrede gestellt; seitdem sie aber von Pilla und anderen Gelehrten wahrgenommen worden sind, darf an ihrem Vorkommen nicht mehr gezweifelt werden. Pilla sah am 2. Juni 1833 an der thätigen Bocca des Vesuvs eine 4 bis 5 Meter hohe violettrote Flamme auflodern; doch brannte sie nur an den Rändern der Rauchsäule, also blofs in Berührung mit der Luft. Ein Geruch nach Schwefelwasserstoff war deutlich bemerkbar. Auch im Juni und August 1834 beobachtete Pilla am Fufse des Vesuvs kleinere und gröfsere Flammen. Abich

entdeckte hier Flammen in demselben Jahre und Forbes im Jahre 1844[1]). Endlich zeigten sich auch wirkliche Flammenerscheinungen bei den vulkanischen Ausbrüchen auf Santorin am 30. Januar 1867. Eine an Ort und Stelle vorgenommene Untersuchung ergab, dafs die entzündbaren Blasen eine Gasmischung enthielten, in welcher die Kohlensäure in grofsem Verhältnis vertreten war und deren Verbrennbarkeit dem Wasserstoff und Kohlenwasserstoff zugeschrieben werden mufste[2]). Die Ursache der Flammenbildung sind wohl meistens die entströmenden Wasserstoff- und Schwefelwasserstoffgase. Andere Gase mögen hierbei mit beteiligt sein; doch sind nur die genannten allgemein und mit Sicherheit an derartigen Stellen nachgewiesen worden.

Das Eruptionsmaterial der Vulkane ist in Beziehung auf Form und Gröfse aufserordentlich verschieden. Die sogenannte vulkanische Asche ist das feine, bald hell-, bald dunkelgraue Material, das teils durch die Reibung der auf- und niederfliegenden gröfseren Schlacken und Lapilli, teils durch Dampfexplosionen im Krater entsteht, durch welche die Lava in die feinsten Teile zerstiebt. Daher ist die vulkanische Asche aus derselben Gesteinsmasse zusammen gesetzt wie die Schlacken und Laven. Sie verleiht der Dampfsäule, besonders in ihren unteren Teilen, eine dunkle Farbe und steigt bisweilen, wie bei dem Ausbruch des Vesuvs im Jahre 1822, über 3000 Meter hoch empor. Infolge ihrer Feinheit wurde sie vom Winde oft weithin getragen: so vom Vesuv im Jahre 512 bis Constantinopel und Tripoli und am 3. März 1755 bis Calabrien. Dabei ist die Aschenmenge oft so ungeheuer, dafs sie den Tag in vollkommene Nacht verwandelt und bei ihrem Niederfall die umliegenden Landschaften weithin mit einer dicken Aschenkruste überzieht. Das gewaltigste Schauspiel bot in dieser Hinsicht wohl der Coseguina in Centralamerika im Jahre 1835. Die von ihm ausgeworfenen Aschen wurden gegen 270 geogr. Meilen weit nach Westen geführt. Innerhalb einer Entfernung von 6 Meilen war der Boden von einer über 3 Meter dicken Aschenschicht überlagert, welche Häuser und Wälder hie und da förmlich begrub. In der ganzen Umgebung bis über 10 Meilen Entfernung herrschte $2\frac{1}{2}$ Tage die vollste Finsternis.

Durch die Dampfexplosionen im Eruptionskanal werden ferner gröfsere oder kleinere Lavaklumpen in die Luft geschleudert; sie erstarren während des Flugs gewöhnlich zu verdrehten und gewundenen

[1]) Fuchs, l. c. S. 295 ff.

[2]) Ausland 1867, S. 883. Vgl. hierzu W. Reifs und A. Stübel, Geschichte und Beschreibung der vulkanischen Ausbrüche bei Santorin. Heidelberg 1868. S. 107. 151. 158. Von Reifs und Stübel selbst wurden jedoch keine Flammenerscheinungen mit Sicherheit erkannt (l. c. S. 133. 143).

Schlackenstücken (als vulkanische Bomben oder Thränen in Italien bezeichnet), welche bald rauh und schwammig erscheinen, bald mit einer verglasten oder emailartigen Kruste versehen sind (s. S. 225). Scheibenförmige Gestalt nehmen sie an, wenn sie noch als glühendflüssige Massen zu Boden fallen. Kleinere Schlackenbrocken von teils runder, teils eckiger Form werden von den Neapolitanern Lapilli (auch Rapilli) genannt: ein Name, der später allgemein geworden ist. Selten erlangen die ausgeworfenen Lavastücke eine Gröfse von 1 oder gar von 3 Meter Durchmesser. Die Höhe, welche die Schlacken erreichen, bleibt natürlich weit hinter derjenigen der vulkanischen Asche zurück; sie beträgt, von der Höhe des Kraters aus gerechnet, im Mittel am Vesuv 350, am Ätna 800 Meter. Auch werden sie selbstverständlich nicht so weit verstreut wie die feinen Aschenteilchen. Aus der Mitte der Kraleröffnung steigen die Schlacken gewöhnlich senkrecht empor und kehren, wenn sie nicht durch Anprall an andere aus ihrer Bahn abgelenkt werden, in den Krater zurück; die an der Seite sich erhebenden aber beschreiben Parabeln und stürzen auf dem äufseren Kraterabhang oder in noch gröfserer Entfernung von ihrem Ausgangspunkt zu Boden.

Aus den genannten vulkanischen Auswurfsmassen, wie Aschen, gröfseren und kleineren Schlacken, entstehen unter Beihilfe des bei Eruptionen reichlich fliefsenden Wassers vulkanische Schlammmassen, die bei ihrer Verhärtung zu vulkanischen Tuffen und Conglomeraten werden. Herculanum ist z. B. im Jahre 79 n. Chr. durch Schlammströme, nicht durch feurige Lavaströme oder Aschenregen untergegangen. Vier Tage lang hielt der Sand- und Aschenfall an, mit welchem sich heftige Regengüsse zur Entwicklung von Schlammströmen vereinigten. Die flüssigen Schlammmassen erfüllten alle Räume der Häuser und umschlossen selbst Menschen und Tiere, deren Skeletten man samt den Körperabdrücken in den zu Tuff verhärteten Schichten begegnet. Erst bei einem späteren Ausbruche des Vesuvs ergofs sich noch ein Lavastrom über die Stätte von Herculanum. Wir erwähnen hierbei, dafs Pompeji unter einer Decke loser Eruptionsprodukte begraben ist, die vielfach 3 bis 4 Meter über die höchsten Gebäude der Stadt hinausragt; Schlammströme scheinen hier nicht wirksam gewesen zu sein. — Bei unterseeischen Eruptionen verrichtet das Meerwasser die Dienste des fliefsenden, und es entstehen so geschichtete vulkanische Tuffe.

Nicht blofs als Aschen, Lapilli und Bomben, sondern vor allem als Ströme treten die Laven aus dem Krater der Vulkane hervor. Diese Ströme wälzen sich, durch ihre hohe Temperatur (2000 ° C.) die ganze Umgebung erwärmend, an den Gehängen derselben abwärts

und bilden später abgekühlt eine aufserordentlich harte Masse. Meist währen solche Ergüsse nur eine kurze Zeit; bisweilen quellen jedoch die feurigen Massen monatelang ohne Unterbrechung hervor (so am Mauna Loa vom 5. November 1880 bis Mitte August des folgenden Jahres).

Der Begriff der Lava schliefst keine bestimmte Gesteinsart in sich; denn „Lava ist (nach Leopold v. Buch) alles, was im Vulkane fliefst und durch seine Flüssigkeit neue Lagerstätten einnimmt“. Doch stimmt sie hinsichtlich ihrer mineralischen Zusammensetzung fast stets mit denjenigen Gesteinen überein, welche den Familien der Basalte und Trachyte angehören. Ein Vulkan entsendet übrigens nicht immer dieselbe Lavaspecies, sondern wechselt dieselbe im Laufe gröfserer Perioden. Gewöhnlich pflegen dann basaltische Laven den Trachytlaven zu folgen; doch begegnet man nicht selten auch der umgekehrten Ordnung.

Von Wichtigkeit ist besonders die Thatsache, dafs die feurigflüssige Lavamasse Wasser gebunden enthält, welches erst bei ihrer Erstarrung allmählich in Dampfform entweicht. So lange sich also die Laven im Eruptionskanale befinden, sind sie in einem Zustande wässeriger Schmelzung. Indem die Wasserdämpfe nach dem Ausbruch der Lava infolge des verminderten Druckes hervorbrechen, entwickeln sich manchmal selbst nach oberflächlicher Erstarrung der Lavamasse kleine Eruptionen auf derselben, wodurch 3 bis 6 Meter hohe Schlackenkegel oder Schlackenschornsteine gebildet werden, welche der auf S. 221 abgebildeten flaschenförmigen Lavasäule ganz ähnlich sind. Auf dem Vorhandensein der Wasserdämpfe beruht übrigens auch die poröse Textur der meisten Laven [1]).

Während die Oberfläche eines Lavastromes sehr rasch erkaltet und zu einer schlackenartigen Rinde erstarrt, kann man durch Spalten im Innern noch lange Zeit die glühend-flüssige Masse sehen. Nicht selten wälzt sich dieselbe in dem Schlackensacke noch weiter; bisweilen entleert sich hierbei der ganze flüssige Inhalt, so dafs ein Lavaschlauch zurückbleibt, welcher natürlich meist zusammenbricht. Nur in einzelnen Fällen kühlt sich die Lavamasse rasch ab. So war der Strom, welcher sich im August 1832 aus dem Vesuv ergofs, schon am 17. Oktober desselben Jahres vollständig erkaltet [2]). Dagegen konnten Weingärtner am Vesuv in den Spalten eines Lavastromes von 1858 noch im Jahre 1864 ihr Essen über der heifsen Masse gar kochen. Oft ist die Lava 20, 30, selbst 40 und mehr Jahre nach dem Aus-

[1]) J. Hann, F. v. Hochstetter und A. Pokorny, Allgemeine Erdkunde. Prag 1872. S. 129.

[2]) Fuchs, l. c. S. 311.

bruche noch glühend oder wenigstens stark erhitzt. Das berühmteste Beispiel für ein langes Zurückhalten der Hitze liefern die Laven des Jorullo. Die ungeheure, stellenweise bis gegen 160 Meter mächtige Lavamasse, welche diesen Berg umgiebt, rauchte noch 45 Jahre nach ihrem Ausflusse, als A. v. Humboldt sie im Jahre 1804 untersuchte. Ja sogar nach weiteren 23 Jahren, also 68 Jahre nach ihrem Hervortreten, fand sie der englische Reisende Bullock noch rauchend[1]). Dieser Umstand erklärt sich daraus, daſs die Wärmeleitungsfähigkeit der erstarrten Lava, welche wie ein Panzer die unter ihr flieſsende Lava gegen Ausstrahlung schützt, eine sehr geringe ist und daſs die ausgestrahlte Wärme teilweise durch die bei der Krystallisation frei werdende ersetzt wird.

Nur bei günstigem Verlauf steigt die Lava in dem Eruptionskanale hoher Vulkane so weit empor, daſs sie den Krater erreicht und über dessen Rand sich hinweg ergieſst. Je mehr sich die Lavasäule erhebt, desto heftiger wird sie gegen die Wände des Eruptionskanals gepreſst. Ist nun hier infolge der vorausgegangenen Erschütterungen irgendwo eine Spalte entstanden, so drängt sich die Lava durch dieselbe hindurch und tritt demnach an einer Stelle unterhalb des Gipfels zu Tage. So ist am Groſsen Ararat wahrscheinlich nie ein Lavastrom aus der Spitze hervorgekommen, sondern immer nur aus den Gehängen unterhalb der Schneegrenze. Überragt dabei die Lava im Eruptionskanal den Austrittspunkt, so übt der über demselben befindliche Teil der Lavasäule einen Druck auf die Lava in der Ausfluſsmündung aus, und diese wird mit groſser Gewalt hervorgetrieben. Der Lavaspringquell am Mauna Loa bei dem Ausbruch desselben im Jahre 1852 soll sogar eine Höhe von 100 Metern besessen haben. Manchmal brechen die Laven auch aus mehreren Öffnungen gleichzeitig hervor. Liegen dieselben in verschiedener Höhe, so dient natürlich die unterste am längsten dem Lavaerguſs. An der Somma sind vielfach durch Lava ausgefüllte Klüfte als Gänge sichtbar. Verwittert das Nachbargestein derselben, so bleiben mauerartige Lavabänke stehen, welche man auf Island mit dem Namen Teufelsmauern bezeichnet.

Eine Regel, die nicht streng gilt, sich aber doch in der Mehrzahl der Fälle bewährt hat, lautet: Je höher Vulkane sind, um so seltener erfolgen Lavaergüsse, um so bedeutender aber sind ihre Aschenerruptionen. Es läſst sich dies leicht erklären; denn die Dämpfe bedürfen bei hohen Vulkanen einer viel gröſseren Spannkraft, um die gröſsere Lavasäule bis an die Oberfläche zu heben, und ferner wächst mit

[1]) Heinrich Berghaus, Allgemeine Länder- und Völkerkunde. Stuttgart 1837. Bd. II, S. 596 f.

der Höhe auch der Umfang der Berge, damit aber zugleich die Unwahrscheinlichkeit, dafs Lavamassen mächtig genug sind, die Gesteinslager zu durchbrechen. So haben die hohen Vulkane Quitos mit Ausnahme des Antisana und Sangay seit Menschengedenken keinen Lavastrom entsendet. Dasselbe gilt von dem hohen Popocatepetl in Mexico. Zu den Vulkanen, welche der Lavaergüsse gänzlich entbehren, gehören die Soufrière auf Guadeloupe, der Maypo in Chile, die Tolbatschinskaja Sopka und der Schiwelutsch auf Kamtschatka. Ferner sind Lavaströme an den Vulkanen Javas aus historischen Zeiten zweifelhaft oder jedenfalls sehr selten; der Gunung-Merapi ist einer der wenigen der dortigen Vulkane, welcher durch ein paar mächtige vorhistorische Lavaergüsse ausgezeichnet ist. Unter den kleinen Vulkanen sind besonders diejenigen ohne Lavaergüsse, welche neben zahlreichen anderen vorkommen und wahrscheinlich nur kurze Zeit thätig waren, wie manche Kegel in der Eifel, der Auvergne und den Phlegräischen Feldern; auch der schon genannte Monte Nuovo ist hierher zu zählen.

Den Perioden gesteigerter vulkanischer Thätigkeit, wie wir sie oben zu schildern versucht haben, folgen gewöhnlich Perioden der Ruhe, welche den thätigen Vulkanen den Charakter der erloschenen aufprägen. Nur selten äufsern sich dann die vulkanischen Kräfte durch Detonationen, Auswürfe von Bomben, sowie durch ein Aufwallen der glutflüssigen Lava innerhalb des Kraterschlundes, um so häufiger aber durch Entwicklung von verschiedenartigen Gasen und Dämpfen. Mächtige Dampfmassen erfüllen nicht selten die Kratereinsenkungen und erheben sich, eine weifse Säule oder ein lichtes Gewölk bildend, über dieselben. Häufig strömen die Dämpfe nicht blofs aus dem Eruptionskanal aus, sondern aus allen Rissen und Spalten, und das Ohr vernimmt überall ein lebhaftes Zischen und Pfeifen. Je nach der Qualität der ausgehauchten Dämpfe und Gase führen diese Exhalationen verschiedene Namen.

Senden Gasquellen vorwiegend Wasserdampf aus, so heifsen sie Fumarolen. Meist hauchen jedoch nur diejenigen Fumarolen reine Wasserdämpfe aus, welche sich in der Umgebung eines Vulkans befinden, seltener die, welche dem Abhang des Berges angehören, am seltensten aber diejenigen, welche aus dem Krater emporsteigen; letztere reagieren gewöhnlich sauer. Sie enthalten häufig und zwar in sehr veränderlicher Menge Salzsäure, Schwefelwasserstoff, schweflige Säure, Kohlensäure und Stickstoff. Manchmal ist die Säure kaum wahrzunehmen; oft aber sind die Wasserdämpfe so sehr mit Salzsäure, Schwefelwasserstoff und schwefliger Säure beladen, dafs des scharfen,

stechenden Geruches wegen eine Annäherung unmöglich ist. Aufserordentlich reich an Fumarolen sind Island (besonders das Geysirgebiet), Java (namentlich die Abhänge des Gunung-Guntur und des Gunung-Pepandajan), die Nordinsel von Neuseeland (hauptsächlich das Gebiet zwischen dem Taupo-See und der Ostküste) und Mittelitalien (die Insel Ischia, der Vesuv u. a. O.).

Eine Gasquelle, welcher vorzugsweise Schwefelwasserstoff, Schwefeldämpfe oder schweflige Säure entströmt, bezeichnet man als Solfatara: ein Wort, welches ursprünglich nur einem Schwefelkrater bei Pozzuoli zukam und so viel als Schwefelgrube bedeutet. Diese Solfatara ist ein alter vulkanischer Krater, dem im Jahre 1198 zum letzten Male Lava entquoll. Die vulkanischen Gebiete von Island, von Java und Neuseeland besitzen viele Solfataren.

Schwefelwasserstoff und schweflige Säure bilden sich nicht selten gleichzeitig an einem Vulkane. Es ist dies besonders deshalb von Wichtigkeit, weil sich hier zwei Äquivalente Schwefelwasserstoff mit einem schwefliger Säure zu zwei Äquivalenten Wasser und drei gediegenen Schwefels zersetzen. Wird darum in einem Eruptionskanale sowohl Schwefelwasserstoff als auch schweflige Säure erzeugt und zwar in dem Verhältnis von zwei Äquivalenten zu einem, so zerstören sie sich sofort gegenseitig, wenn sie sich treffen. Daher nimmt man auch nie beide gleichzeitig an derselben Öffnung wahr, sondern nur dasjenige von ihnen, welches in gröfserer Menge vorhanden ist. Sie verwandeln überdies die trachytischen Kraterwände in einen bröckeligen Grus und bewirken an den Rändern des Exhalationsschlundes die Ablagerung gelblicher Incrustate von Schwefel.

Auch Aushauchungen von Kohlensäure folgen häufig vulkanischen Eruptionen. Den Öffnungen, aus welchen sie hervorbrechen, hat man den Namen Mofetten gegeben: eine Bezeichnung, welche ursprünglich nur in der Gegend von Neapel für die Kohlensäuregas-Quellen gebräuchlich war. Wegen ihres hohen specifischen Gewichts sammelt sich die Kohlensäure unmittelbar über der Erdoberfläche, wodurch sie dem Tierleben um so verderblicher wird, als keinerlei Anzeichen vor ihr warnen. Alle Tiere, welche sich in den Bereich einer Mofette wagen, werden rasch getötet; Fackeln, welche man in dieselbe taucht, erlöschen. Zu den bekanntesten Mofetten gehören die Hundsgrotte am Lago di Agnano in den Phlegräischen Feldern bei Neapel und das Totenthal auf Java (ein trichterförmiger Kessel, der nach Junghuhn durch Einsturz entstanden ist) [1]. Auch im Gebiet der Eifel kommen

[1]) Die älteren Berichte einiger Reisenden über das Totenthal waren zweifellos übertrieben. Junghuhn (Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und

Mofetten häufig vor, ferner in der Wetterau, im Taunus, auf dem linken Ufer der Weser zwischen Karlshafen und Vlotho, in Böhmen (bei Marienbad), in der Auvergne und anderwärts.

Der Nachweis vieler ergiebiger Quellen, welche der Atmosphäre unaufhörlich Kohlensäure zuführen, ist wichtig zur Beantwortung der Frage, ob die Atmosphäre früher gröfsere Mengen dieses vegetabilischen Lebensgases enthielt oder nicht. Ohne Zweifel entströmen den meisten Mofetten ungeheure Quantitäten desselben. Eine der mittleren Gasquellen zu Marienbad in Böhmen liefert nach Heidler täglich 3600, also jährlich 1314000 Kubikfufs (123,6, resp. 45107,0 Kubikmeter) Kohlensäure [1]. Ferner entsendet nach G. Bischofs genauen Messungen eine Gasquelle bei Burgbrohl am Rhein täglich zwischen 4237 und 5650 Kubikfufs (145,4 bis 194,0 Kubikmeter) oder 538 bis 717 Pfund Kohlensäure, was jährlich 1546505 bis 2062250 Kubikfufs (53088,4 bis 70792,9 Kubikmeter) oder 196370 bis 261705 Pfund ausmacht [2]. Bedenkt man, dafs sich diese Messungen nur auf einzelne Ausflufspunkte beziehen, während in manchen Gegenden dergleichen Punkte in sehr grofser Anzahl beisammen liegen, so gewinnt man erst den wahren Mafsstab für die Beurteilung der aus dem Erdinnern alltäglich in die Atmosphäre emporsteigenden Kohlensäuremengen. Übrigens empfängt die Luft ebenso bedeutende Quantitäten durch Verbrennung von Kohlen, Holz, Torf und durch Glühen von Kalkstein. Nach Péligots Berechnung aus dem Jahre 1865 würde die Luft jährlich bei einem durchschnittlichen Gesamtbedarf von 133 Millionen Tonnen Steinkohlen auf der Erde durch diese Kohlensäure-Quelle allein nach der Verbrennung 304 Milliarden Kubikmeter Gas erhalten [3]. Findet nun auch in der Natur keine Vermehrung der Kohlensäure statt, was übrigens im Interesse des animalischen Lebens

innere Bauart. Übersetzt von J. K. Hafskarl. Leipzig 1854. Bd. II, S. 201—203) hat das Totenthal von 1838 bis 1845 13mal besucht und nur 4mal eine Kohlensäureschicht von höchstens ²/₃ Meter Höhe daselbst gefunden. In den 12 Jahren, die er auf Java verbrachte, ward eine einzige menschliche Leiche darin gesehen; von gröfseren tierischen Kadavern bemerkte er nur im Jahre 1845 die von 6 Wildschweinen. O. Kuntze, der das Totenthal im Jahre 1875 besuchte, erklärt dasselbe für eine Fabel. Er leugnet nicht, dafs an jener Stelle zeitweise Kohlensäureaushauchungen stattfinden mögen; doch fand er selbst keine Kohlensäureansammlung vor, und von toten Insekten und Kadavern kleiner Tiere war keine Spur zu sehen. Gaea 1881 (Bd. XVII), S. 590 f. (nach O. Kuntzes Reisewerk: Um die Erde. Leipzig 1881).

[1]) Heidler, Pflanzen- und Gebirgsarten Marienbads. S. 170.

[2]) Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl. Bonn 1863. Bd. I, S. 688.

[3]) Karl A. Zittel, Aus der Urzeit. 2. Aufl. München 1875. S. 12.

gar nicht zu wünschen ist, so ist doch in der Gegenwart auch keine Abnahme zu verspüren. Produktion und Verbrauch scheinen sich nahezu zu decken.

Verhältnismäſsig selten sind den Gasen der Fumarolen auch Salzsäure, Borsäure, Stickstoff und sogar Phosphor (letzterer den Fumarolen von Volcano) beigemengt. Die Exhalationen des Phosphors sind besonders deshalb wichtig, weil derselbe im Haushalte der Natur eine bedeutsame Rolle spielt.

In der räumlichen und zeitlichen Anordnung der Fumarolen herrschen gewisse, allerdings nicht überall klar hervortretende Gesetze. Die wichtigsten derselben lauten: Chemisch gleichartige Emanationen an demselben Vulkan sind gewöhnlich um so wärmer, je mehr sie sich dem vulkanischen Herde nähern. Ferner liefern dieselben Fumarolen nicht zu allen Zeiten dieselben Gase. In den meisten Fällen entwickeln sich nach einer Eruption zuerst schweflige Säure und Schwefelwasserstoff, für welche allmählich die Kohlensäure eintritt [1]).

Die Frequenz der vulkanischen Eruptionen zeigt nach keiner Hinsicht irgend welche Regelmäſsigkeit. Manche Vulkane verharren Jahrhunderte lang in dem Zustand der Ruhe; andere hingegen sind fast unablässig in Aktion, und innerhalb dieser Extreme begegnen wir allen nur denkbaren Zwischenstufen. Und wie die Eruptionen verschiedener Vulkane in Zeiträumen von jedweder Länge auf einander folgen, so auch die Eruptionen eines und desselben Vulkans.

Der thätigste unter den europäischen Vulkanen ist der Stromboli. Soweit die Geschichte zurückreicht, stöſst er beständig seine Schlackengarben aus und erweist sich so in jeder Nacht als ein vorzüglicher Leuchtturm. Jeder Dampfschiffreisende, der sich auf dem Wege von Neapel nach Messina oder Palermo befindet, erblickt von weitem das Schauspiel einer Eruption. Der am 23. Februar 1770 (vielleicht auch erst am 29. März 1793 [2])) entstandene Izalco (9 geogr. Meilen westlich von San Salvador, Centralamerika) ist seit jener Zeit in fast ununterbrochener Thätigkeit geblieben. Im Jahre 1850 soll er mit fast mathematischer Genauigkeit alle 2 Minuten Ausbrüche gehabt haben, während dieselben 1854 unregelmäſsiger in Intervallen von 5—10 Minuten wiederkehrten. Auch jetzt noch dient bei Tage die gewaltige Rauchsäule, bei Nacht der effektvolle Feuerschein über seinem Krater den Schiffern bei der Landung in der Bai von Acajutla als Riesenleuchtturm im groſsartigsten Maſsstabe. Ferner hat der Vulkan Sangay

[1]) Fuchs, l. c. S. 265.

[2]) Vgl. K. v. Seebach in den Nachrichten von der Kgl. Gesellschaft d. W. zu Göttingen 1865, S. 521 ff.

in Quito in jeder Viertelstunde feurige, des Nachts weithin leuchtende Schlackenauswürfe. Das herrliche Phänomen, das er jetzt darbietet, scheint erst im Jahre 1728 begonnen zu haben. Bei der astronomischen Gradmessung von Bouguer und Lacondamine (1738–1740) wurde der Sangay als ein stetiges Feuersignal benützt [1]). Der Vulkan Sioa auf den Molukken und der Tofua auf den Freundschaftsinseln sind ebenfalls seit ihrer Entdeckung in fortdauernder Eruption [2]). Endlich gehört hierher der Vulkan der Insel Tanna (Neue Hebriden). Alle 5 bis 10 Minuten schleudert er unter lautem, donnerähnlichem Getöse große Lavastücke in die Luft und zählt somit zur Klasse der unaufhörlich thätigen Vulkane [3]).

Ferner giebt es Vulkane, welche nach einem heftigen Ausbruche nicht in den Zustand der Ruhe übergehen, sondern fort und fort eine ziemlich gleichmäßige Thätigkeit entfalten. So ist der Asama-yama in Japan seit der verheerenden Eruption von 1783 in beständiger Aufregung, ebenso der Alaïd (auf den Kurilen) seit seiner Eruption im Jahre 1793, der Gunung-Pepandajan auf Java seit 1772 und der Cotopaxi seit 1742.

Zu den trägen Vulkanen gehörte periodisch der Vesuv. Strabo, der zur Zeit Christi gelebt hat, bemerkt über den Vesuv: „Er zeigt spaltige Höhlen von rußfarbigem Gestein, wie wenn es vom Feuer zerfressen wäre, so daß man vermuten darf, diese Stelle habe ehemals gebrannt und Mündungen für das hervorbrechende Feuer gehabt; dieses sei aber erloschen, als der Brennstoff verzehrt war“ [4]). Doch vermag Strabo seine Annahme durch keine bestimmte historische Mitteilung zu unterstützen. Im Sklavenkriege soll Spartacus mit seinem 10000 Mann starken Sklavenheere in dem Krater des Vesuvs Schutz gesucht haben. Der Vesuv war damals bis zum Gipfel mit Bäumen bewachsen und besaß oben ein großes, flaches, mit wilden Reben und üppiger Vegetation bedecktes Kraterbassin. Am 23. und 24. August des Jahres 79 n. Chr. ereignete sich der erste historisch aufgezeichnete Auswurf von Aschen und Schlacken (Lavaergüsse fehlten wahrscheinlich), welcher den Untergang von Herculanum und Pompeji herbeiführte. Ferner werden Eruptionen vom Jahre 203, 473 und 512 ausdrücklich in den Annalen erwähnt. Im Mittelalter brachte fast jedes Jahrhundert eine oder zwei große Eruptionen, welche teilweise von bedeutenden Lavaergüssen begleitet waren; die größten

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 295. 301.

[2]) Fuchs, l. c. S. 84.

[3]) Meinicke in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. IX (1874), S. 295.

[4]) Strabo, lib. V, p. 247 Casaub.

fallen in die Jahre 685, 993, 1036, 1039, 1138, 1139 und 1306. Von 1306 an begann abermals eine wohl mehr als drei Jahrhunderte umfassende Periode der Ruhe [1]). Graswuchs und Gebüsch erfüllten während dieser Zeit den Krater, und Eichen, Ulmen, Linden, Eschen und Kastanienbäume bildeten anmutige Gruppen in seiner Umgebung. Die vulkanische Thätigkeit war fast ganz erloschen; nur an der Nordseite sandten einige schwache Fumarolen ihre kleinen Dampfsäulen in die Lüfte. Nun folgte der fürchterlich verheerende Ausbruch vom 16. Dezember 1631, und von da an bis zur Gegenwart haben nahezu 50 gröfsere Eruptionen stattgefunden.

Das merkwürdigste Beispiel für aufserordentlich lang anhaltende Ruheperioden gewährt uns der Epomeo auf Ischia, welcher nach zuverlässigen Quellen in den Jahren 45 und 36 vor Christi Geburt Eruptionen hatte und von da an bis zum Jahre 1302 in Unthätigkeit verharrte. Mit dem Ausbruch von 1302 stellte er seine Thätigkeit für immer ein. Doch wäre es recht wohl denkbar, dafs in kommenden Jahrhunderten für ihn wieder eine Periode gröfserer Kraftentfaltung anbräche, da seit der letzten Eruption noch nicht einmal 6 Jahrhunderte vergangen sind, während zwischen den Ausbrüchen von 36 v. Chr. und 1302 n. Chr. ein Zeitraum von mehr als 13 Jahrhunderten liegt.

Der angeführte Fall zeigt uns, dafs es nicht immer leicht zu bestimmen ist, ob ein Vulkan wirklich erloschen ist oder nicht. Es läfst sich bei manchen Vulkanen nicht sagen, ob ihr letzter Ausbruch wirklich ihr allerletzter war; vielmehr ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dafs ein sogenannter erloschener Vulkan unerwartet wieder einmal seine Thätigkeit beginnt. Am zweckmäfsigsten erscheint es, diejenigen Vulkane als erloschen zu betrachten, die zwar ihre vulkanische Natur durch ihren Bau deutlich verraten, von denen aber kein Ausbruch in geschichtlicher Zeit erwiesen ist. Mifslich ist hierbei freilich wieder der Umstand, dafs viele Vulkane Gebieten angehören, deren Bewohner noch nicht in das Licht der Geschichte getreten sind. Ihre Ausbrüche sind uns also möglicher Weise nur deshalb unbekannt, weil die Berichterstatter für dieselben fehlen.

Nach alledem ist es sehr schwer, die Zahl der thätigen Vulkane auf dem ganzen Erdkreis genau festzustellen. Ein derartiger Versuch ist auch insofern noch mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft, als man häufig unschlüssig ist, ob man jeden kleinen Hügel mit kraterförmiger Öffnung einzeln in Rechnung bringen oder mehrere benachbarte als verschiedene Organe eines und desselben Vulkans ansehen

[1]) Ein Ausbruch vom Jahre 1500 ist noch nicht mit Sicherheit erwiesen.

soll. Wo wir es mit einem hohen vulkanischen Kegel zu thun haben, wird kaum ein Zweifel entstehen; wo hingegen auf plateauartigem Terrain zahlreiche kleine Krater und Schlackenhügel auftauchen, wird die Entscheidung schwerer. Derartige vulkanische Gruppen zählt man am besten als einen Vulkan (so die Krater der Eifel, der Phlegräischen Felder, der Euganeen u. a.). Wollte man in solchem Falle jedem Ausgangspunkte eines Eruptionskanals eine individuelle Bedeutung beimessen, so würden wir beispielsweise für die kleine Inselgruppe der Galápagos mehr als 2000 Vulkane erhalten.

A. v. Humboldt ermittelte auf Erden 407 Vulkane und unter diesen 225 thätige [1]. Die letzte Ziffer mufste schon deshalb zu klein ausfallen, weil A. v. Humboldt nur solche in diese Klasse aufnahm, welche seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts Eruptionen hatten. Aber auch die erstere Zahl hat sich durch neuere Entdeckungen bedeutend vermehrt, und so finden wir bei C. W. C. Fuchs [2] 270 thätige Vulkane und 672 Vulkane überhaupt angeführt.

Die folgende Tabelle giebt uns nach Fuchs eine Übersicht über die Zahl der Vulkane, wie sie auf die verschiedenen Länderräume verteilt sind.

	Gesamtzahl	Gegenwärtig noch thätige
1. Europa.		
Auf dem Festlande und den kontinentalen Inseln	24	5 [3]
Island und Jan Mayen	28	11
2. Asien.		
Westasien und Arabien	20	5
Centralasien und Indien	7	3
Kamtschatka	38	12
Kurilen	20	10
Japan	46 [4]	7
Summa	183	53

[1] A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 446.

[2] l. c. S. 93 ff.

[3] Diese fünf sind: Vesuv, Ätna, Stromboli, Volcano und der submarine Vulkan auf der Insel Ferdinandea, welche nur vom Juli bis Dezember 1831 bestand (Fuchs, l. c. S. 95). Vergessen sind hierbei der Monte Nuovo in den Phlegräischen Feldern (S. 224), der Epomeo auf Ischia (S. 246) und die Inselgruppe Santorin (S. 237).

[4] Nach Edmund Naumann (Mitteilungen der deutschen Gesellschaft für Natur- und Völkerkunde Ostasiens 1878, S. 203) hat Japan ohne Yezo, die Kurilen und Liu-Kiu-Inseln 49 Vulkane, darunter 17 thätige; J. J. Rein (Japan.

	Gesamtzahl	Gegenwärtig noch thätige
Transport	183	53
Zwischen Japan und den Philippinen	23	7
Südasiatische Inseln	109	45
Inseln im Busen von Bengalen	3	2
Inseln bei Arabien	9	2
3. Afrika.		
Festland	15	11
Westseite von Afrika } Insel- und submarine Vulkane	28	10
Ostseite von Afrika } Insel- und submarine Vulkane	9	5
4. Nordamerika.		
Halbinsel Alaska	5	3
Festland der Vereinigten Staaten	29	6
Mexico	15	6
Aleuten	48	31
5. Mittelamerika.		
Festland	56	21
Antillen	14	6
6. Südamerika.		
Quito	20	11
Peru	15	3
Chile	33	14
Inseln an der Ostküste von Südamerika .	5	3
7. Australien.		
Neuholland	1	—
Neuguinea	3	3
Neubritannien	3	2
Neuseeland	7	2
8. Zerstreut liegende Inseln.	39	24
Summa	672	270

Diese Angaben sollen natürlich kein genaues und abschliefsendes Resultat sein. Es ist vielmehr zu erwarten, dafs zukünftige Zählungen zu anderen und zwar zu höheren Resultaten führen. Sind auch seitdem mehrere früher für Vulkane gehaltene Kegel als nicht vulkanisch erkannt worden (z. B. der Aconcagua [1])), so entstehen doch auch andrerseits noch immer neue, — wir erinnern nur an den im Januar

Leipzig 1881. S. 46. 50) hingegen spricht dem Japanischen Reich „mindestens hundert sogenannte erloschene Vulkane" und 18 thätige zu. Hiernach zu schliefsen dürften die von Fuchs angegebenen Vulkanzahlen durchweg beträchtlich zu klein sein.

[1]) Moriz Wagner, Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 499 f.

1880 plötzlich aus dem Ilopango-See (Centralamerika) emporgestiegenen Vulkan — und in Länderräumen, die bisher der Fufs des Forschers nicht betreten hat, wird noch mancher Berg einen vulkanischen Charakter verraten.

Wie die obige Tabelle zeigt, sind die Vulkane keine lokalen Erscheinungen; sie sind vielmehr ausgestreut über alle Erdteile und alle Zonen. Und doch wird die räumliche Verteilung der Vulkane von gewissen Gesetzen beherrscht, welche sofort in die Augen springen, sobald man die Vulkane in eine Erdkarte einträgt.

Sie suchen nämlich mit Vorliebe die Nähe grofser Wassermassen auf; die meisten erheben sich daher an den Rändern der Oceane oder im Meere auf Inseln. So liegen von den 225 Vulkanen, welche von der Mitte des vorigen bis zur Mitte dieses Jahrhunderts einen Ausbruch hatten, 155 (also zwei Drittel der Gesamtheit) auf Inseln und nur 70 (ein Drittel) auf den Kontinenten [1]), und von den letzteren wieder findet sich die Mehrzahl an der Küste selbst oder wenigstens nicht weit von den Ufern gröfserer Binnenseen. Binnenländische Vulkane, welche noch thätig sind, gehören zu den gröfsten Seltenheiten; man wird darum wohl kaum irren, wenn man ruhende Vulkane, welche tief im Innern der Festlande und auch fern von Seen vorkommen, wenigstens so lange als erloschen betrachtet, als die oceanische Küste ihnen nicht näher rückt. Demnach sind die Vulkane in der Auvergne, der Eifel und in Mitteldeutschland als erloschen anzusehen, obwohl sie, geologisch gesprochen, teilweise durchaus nicht von besonders hohem Alter sind. So ist z. B. der Roderberg bei Bonn erst entstanden, als der Rhein längst durch jenes Thal flofs, da die Laven Geröll einschliefsen, wie es noch gegenwärtig der Rhein mit sich führt [2]).

Dafs erloschene Vulkane weit binnenwärts liegen, darf nicht auffallen, da das Meer einst Flächenräume bedeckte, welche schon längst seinem Schofse entstiegen sind; es kann somit recht wohl vormals den Fufs jener Vulkane bespült haben. Zu den gröfsten Seltenheiten darf man hingegen diejenigen Fälle zählen, in denen thätige Vulkane von jeder gröfseren Wasseransammlung weit abstehen. Der rastlos thätige Sangay in Quito ist 22 geogr. Meilen, der Popocatepetl in Mexico 32 geogr. Meilen und der Grofse Ararat, welcher früher für erloschen angesehen wurde, aber erst am 2. Juli 1840 durch eine mit Bergsturz und Erdbeben verbundene Eruption sich als thätig erwies, sogar 41 Meilen vom Meere entfernt. Doch nähert sich der letztere dem Wan-See bis auf 14 und dem Balyk Göl bis auf 8 Meilen.

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 450 f.

[2]) Daubeny, Die noch thätigen und erloschenen Vulkane, bearbeitet von Leonhard. S. 70.

Bei der innigen Beziehung des thätigen Vulkanismus zum Meere trug die angebliche Existenz von Vulkanen im Innern von Asien viel Rätselhaftes an sich. Das vulkanische Gebiet Ujun Holdongi (in der nordwestlichen Mandschurei, 25 Werst oder $3^1/_2$ Meilen von der Stadt Mergen) ist von der nächsten Küste c. 110 geogr. Meilen entfernt; allein die dortigen Krater sind, wie in Ermans Archiv von 1866 nachgewiesen worden ist, keineswegs noch thätig, sondern erloschen [1]). Ebenso verhält es sich wohl mit dem von A. v. Humboldt [2]) als Vulkan beschriebenen Pe-schan, dem beständig dampfenden Vulkan von Turfan im Nordosten der Stadt Kunä-Turfan und der grofsen Solfatara von Urumtsi (sämtlich im Thian-Schan gelegen). Der Pe-schan (auch Be-schan oder Bai-schan) ist vom Indischen Oceane 380, vom Nördlichen Eismeere 370 und selbst vom Aralsee noch 255 geogr. Meilen entfernt. Nur einige kleinere Seen, wie der Saisan-nor, der Balchasch-See und der Issyk-kul, nähern sich ihm bis auf 90, resp. 52 und 43 geogr. Meilen. A. v. Humboldt stützte sich bei jenen Angaben auf die sinologischen Forschungen von Stanislas Julien; indessen dürften wohl kaum aus den von Julien benützten chinesischen Quellen Ausbrüche in historischen Zeiten mit einiger Sicherheit erwiesen werden können. Schon J. Muschketow versuchte die Frage nach den thätigen Vulkanen in Centralasien durch den Hinweis auf die im Ili-Becken jetzt noch brennenden Kohlenflötze zu lösen [3]), und in der That hat im Jahre 1881 eine russische Expedition, welche speciell zur Aufklärung dieser Frage nach dem Thian-Schan gesandt wurde, bestätigt, dafs der Pe-schan nicht vulkanischer Natur ist und dafs der seit undenklichen Zeiten aus ihm vordringende Rauch brennenden Kohlenlagern entstammt [4]). Zugeben müssen wir in jedem Falle die Existenz erloschener Krater im Gebiete des Thian-Schan. So sahen Oberst Gordon, der österreichische Geolog Stoliczka und Kapitän Trotter im Jahre 1874 auf einem Ausfluge von Kaschgar nach dem Thian-Schan bei Turgat Bala unverkennbare Kraterwände eines erloschenen Vulkans [5]). Da noch in der zweiten Hälfte der Tertiärzeit ein mit dem Ocean verbundenes innerasiatisches Mittelmeer bestand, so haben wir keine Veranlassung, an der Richtigkeit dieser Beobachtung zu zweifeln.

[1]) Globus. Bd. XXI (1872), Nr. 22, S. 338.

[2]) Centralasien. Deutsch von Mahlmann. Berlin 1844. Bd. I, S. 381 ff.

[3]) Bulletin de l'Acad. impér. d. Sc. d. St.-Pétersbourg. Tome XXIII (1877), p. 70—79.

[4]) Aus der offiziellen Turkestanischen Zeitung im Journal de St.-Pétersbourg vom 17./29. Dezbr. 1881. Vgl. Petermanns Mitteilungen 1881, S. 384, Nota 1 und 1882, S. 66.

[5]) Globus. Bd. XXVI (1874), Nr. 14, S. 220.

Von dem am Nordufer des Wan-Sees gegen 3300 Meter sich erhebenden Sipan-Dagh nimmt man an, dafs er ein Vulkan, aber wahrscheinlich ein erloschener ist. Im Jahre 1869 entdeckte der britische Konsul zu Erzerum, J. G. Taylor, nördlich vom Wan-See zwischen Beigirkala und Diadin am Muradflufs einen thätigen Vulkan Namens Sunderlik-Dagh, d. i. Ofenberg. Rauch stieg aus seinem Krater auf, und ein rumpelndes Getöse liefs sich in der Erde hören [1]). Indes ist jener Berg kein anderer als der von H. Abich [2]) an den Quellen des Euphrat unter 39° 43′ n. Br. und 43° 53′ ö. L. von Greenwich aufgefundene Tandurek. Dieser aber ist keineswegs ein thätiger Vulkan; seine zahlreichen Fumarolen, massenhaften Wasserdämpfe und Schwefelablagerungen beweisen nur, dafs er ehemals Eruptionen gehabt hat; sicher gehört er jetzt unter die erloschenen Vulkane. Endlich zählt auch der Demawend (an dem Südufer des Kaspischen Meeres) in diese Kategorie. Er wurde im Jahre 1859 von Kotschy, 1860 von v. Minutoli und Brugsch erstiegen. Auch er besitzt Fumarolen; aber er weist keinerlei Spuren eines neueren Ausbruches auf [3]). So fällt denn einer der thätigen Vulkane des asiatischen Kontinentes nach dem andern, und wir dürfen mit vollem Rechte daran zweifeln, dafs auch nur ein einziger noch ebenso weit vom Meere zurückweicht wie der Grofse Ararat.

Ebenso mifstrauisch sind wir gegen die thätigen Vulkane Innerafrikas. Die Nachrichten über den Dschebel Koldadschi, einen angeblichen Vulkan in Kordofan, welcher 112 geogr. Meilen von der Küste des Roten Meeres entfernt sein soll, sind sehr unzuverlässig und entbehren einer neueren Bestätigung; namentlich fehlen uns jegliche Angaben darüber, ob er noch wirklich thätig oder bereits erloschen ist.

Es scheint demnach, dafs das Meerwasser bei vulkanischen Ausbrüchen ein Hauptagens ist. Früher hat man es in Frage gestellt, dafs bei der Tiefe des vulkanischen Herdes, in welchen das Wasser hinabsteigen mufs, die Expansivkraft der in solchen Tiefen entstehenden Dämpfe von dem hydrostatischen Druck des hinabsickernden Seewassers überwunden werden könne, dafs also das Wasser durch die Öffnungen und Spalten auf dem Boden des Meeres, sowie durch die Poren der Gesteine bis zu dem vulkanischen Herde niederzugehen vermöchte. Den interessanten Versuchen Daubrées verdanken wir

[1]) T. K. Lynch in den Proceedings of the Royal Geogr. Society. Vol. XIII (1869), Nr. 3, p. 243.

[2]) Bulletin de la Société impér. des Naturalistes de Moscou. Tome XLIII (1870), Nr. 1, p. 1—9.

[3]) Vgl. hierzu Emil Tietze: „Der Vulkan Demawend“ in dem Jahrbuch der K. K. geologischen Reichsanstalt. Bd. XXVIII (1878), S. 169—205.

den Nachweis, dafs dies in der That möglich ist[1]). Daubrée konstruierte eigens hierzu einen Apparat und beobachtete folgendes: Wenn auf eine Sandsteinplatte von oben eine Wasserschicht, sowie die Atmosphäre einen Druck ausüben, während sie von unten her bei einer den Siedepunkt des Wassers erheblich überschreitenden Temperatur einen noch bedeutenderen aërostatischen Druck erleidet, so dringt das Wasser noch rascher durch sie hindurch, als wenn, wie bei gewöhnlicher Temperatur, nur die Atmosphäre von unten her wirkt. Daubrée glaubt den Grund dieser eigentümlichen Erscheinung darin zu finden, dafs die an der unteren Seite der Sandsteinfläche haftenden Wasserteilchen infolge der hohen Temperatur verdampfen. Nun werden die zunächst liegenden Wasserteilchen durch die Kapillarität gezwungen herabzusteigen; aber auch sie verdampfen rasch an der unteren Fläche, und neues Wasser gelangt an ihre Stelle von oben herab. Daubrée hat also gezeigt, dafs einsickerndes Wasser selbst gegen einen heftigen Dampfdruck durch die Kapillarporen eines nicht allzu dichten Gesteins sich einen Weg zu bahnen vermag. Übrigens kann man sich auch mit A. v. Humboldt[2]) denken, dafs an den Rändern der aufsteigenden Kontinente, welche jetzt die über der Meeresfläche sichtbaren Küstenstriche mit mehr oder minder schroffen Abhängen bilden, durch die gleichzeitig veranlafsten Senkungen des nahen Meeresgrundes Spalten verursacht worden sind, durch welche die Kommunikation mit dem Erdinnern begünstigt wird.

Ist nun das Meerwasser wirklich ein unentbehrlicher Faktor bei vulkanischen Ausbrüchen, so würden chemische Analysen der ausgestofsenen Gase dies bezeugen, und in der That haben Daubeny, Deville, Fouqué u. a. bei Ausbrüchen verschiedener Vulkane alle chemischen Produkte nachgewiesen, die vorhanden sein müssen, wenn Seewasser Zutritt zu den vulkanischen Herden erlangt hätte. So entwickeln die meisten in der Nähe der Küste liegenden Vulkane Chlorwasserstoffsäure oder sogenannte Salzsäuredämpfe, während andere Chlorverbindungen, wie Salmiak, Kochsalz und das schwefelgelbe Eisenchloridhydrat, sich als Sublimationsprodukte häufig an den Wänden der Spalten finden. Doch scheinen diese Chlorverbindungen den meisten Andesvulkanen Südamerikas teils ganz zu fehlen, teils mögen sie nur in geringen Quantitäten hier vorkommen, wie uns dies die Untersuchungen Boussingaults und García Morenos, des früheren Präsidenten von Ecuador, gelehrt haben. So enthalten nach Boussingault die fünf südamerikanischen Vulkane Tolima, Puracé, Pasto, Tuqueres und Cumbal gar keine Salzsäure. A. v. Humboldt

[1]) Bulletin de la société géologique de France. Tome XVIII (1861), p. 193—202.
[2]) Kosmos. Bd. IV, S. 452.

nahm sogar an, dafs die Abwesenheit der Salzsäure ein charakteristisches Merkmal des Vulkanismus in Amerika sei. Indessen hat sich bei näherer Untersuchung diese Vermutung nicht bestätigt. So fand Reifs einen mittelbaren Beweis für das Vorhandensein dieser Säure in dem Eisenglanz (hierro oligisto) des Antisana. Ferner besitzen die Fumarolen des Cotopaxi Ablagerungen einer weifsen Substanz, die von Dressel als Gips erkannt wurde und besondere Wichtigkeit dadurch erlangte, dafs mit dem Gipse zugleich Chloride auftraten [1]).

Jene interessante Frage nach der Abhängigkeit des thätigen Vulkanismus von dem Seewasser ist jedenfalls noch nicht endgültig gelöst. Doch scheint man zu der Annahme berechtigt zu sein, dafs, je weiter ein Vulkan von der Küste entfernt ist, auch das Seewasser um so weniger Einflüsse auf seine Dämpfe geltend macht und Chlorverbindungen um so seltener werden. Vor allen Dingen aber drängt sich beim Anblick der erloschenen binnenländischen Vulkane die Überzeugung auf, dafs die Nähe des Meeres für die vulkanische Aktion eine notwendige Voraussetzung ist, und diese Behauptung ist um so mehr gerechtfertigt, als wir bereits erkannt haben, dafs die Wasserdämpfe bei vulkanischen Eruptionen ohne Zweifel eine Hauptrolle spielen.

Aufser dem einen Gesetz: Vulkane suchen mit Vorliebe Küstengebiete auf — gilt für die räumliche Verteilung der Vulkane noch ein zweites: Vulkane haben häufig eine reihenförmige Anordnung.

Als A. v. Humboldt im Jahre 1810 in seine Karte von Neuspanien die Vulkane Mexicos vom Orizabapic im Osten bis zum Colima im Westen zwischen 18° 59′ und 19° 12′ n. Br. eintrug, fand er, dafs diese vom Tuxtla bis zum Colima auf einer sanft gebogenen, beinahe geraden Linie geordnet lagen. Bemerkenswert war hierbei der Umstand, dafs dieselbe vom Atlantischen Ocean mitten durch eines der gröfsten Hochländer der Erde ging und in die Südsee verlängert auf die vulkanische Revillagigedogruppe traf. Als A. v. Humboldt jene Entdeckung veröffentlichte [2]), bat er die Leser um Entschuldigung, dafs er auf diesen vielleicht nur zufälligen Umstand aufmerksam zu machen wage. Gar bald bestätigte sich jedoch die reihenförmige Anordnung der Vulkane auch anderwärts. Leopold v. Buch beobachtete auf Lanzarote (eine der Canarien) ein Seitenstück zu dieser Erscheinung [3]) (s. Fig. 37) und schuf den Namen „Reihenvulkane". Selten sind die vulkanischen Linien völlig gerade wie in Chile; häufiger

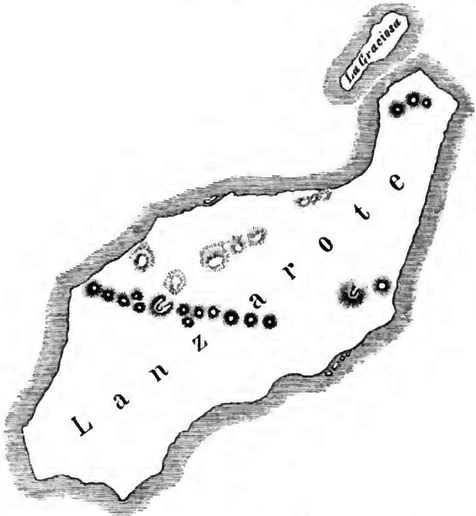
[1]) W. Reifs in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. VIII (1873), S. 304.

[2]) Essai politique sur la Nouvelle Espagne. Paris 1811. Tome II, p. 300.

[3]) L. v. Buch, Physikalische Beschreibung der Canarischen Inseln. Berlin 1825. S. 313 ff.

bilden sie schwach gekrümmte, nach dem Ocean zu gewölbte (konvexe) Kurven, wie die an der Ostseite von Asien von Nord nach Süd auf einander folgenden Vulkanreihen der Aleuten, der Halbinsel Kamtschatka, der Kurilen, der japanischen Inselwelt, der Liu-Kiu-Inseln und der Philippinen (im letzteren Falle zeigt sich die sanft geschwungene Kurve am reinsten, wenn der Vulkan auf der Insel Negros mit dem Vulkan Sujut im Innern und dem Vulkan Sanguili auf der Südspitze von Mindanao sowie mit der Vulkaninsel Sangir und dem Vulkan an der Nordostspitze von Celebes durch eine Linie verbunden wird). Das-

Fig. 37.



Die Reihenvulkane auf der canarischen Insel Lanzarote nach L. v. Buch.

selbe gilt von Java. Als Junghuhn diese zerrüttete Stelle der Erdrinde genauer untersuchte, entdeckte sein scharfes Auge nicht nur, dafs Java wie Sumatra in ihren Längenachsen solche vulkanische Lippen besitzen, sondern dafs auch die gröfseren Spalten wiederum von Querspalten durchsetzt werden, die auf Java parallel mit der Längenachse Sumatras, auf Sumatra parallel mit der Längenachse Javas laufen [1]).

[1]) Franz Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart. Bd. I, S. 80.

Demselben Gesetze der Anordnung unterliegen auch die Vulkane der Antillen. Sogar die kleinen parasitischen Kegel eines gröfseren Vulkans stellen in ihrer Gesamtheit hie und da sanft gebogene Kurven dar. Ein treffliches Beispiel hierzu liefern sechs Krater des Jorullo [1]); auch die neun Bocche Nuove am Vesuv (Bocche, im Sing. Bocca, sind die Mündungen von Kanälen, durch welche vulkanische Massen ausgeworfen werden,) bilden eine nur wenig gekrümmte Reihe zwischen dem Gipfel und dem Kloster Camaldoli oberhalb Torre dell'Annunziata. Nicht selten gehen zwei Vulkanreihen parallel neben einander her (so in der Auvergne, auf dem Hochlande von Quito und im westlichen Teile von Java). Übrigens bietet die Länge der Vulkanreihen, die Zahl der einer Reihe angehörenden Vulkane und deren Abstand unter einander die gröfsten Verschiedenheiten dar.

Leopold v. Buch trennte die „Reihenvulkane“ von den „Centralvulkanen“ und definierte letztere als eine Vereinigung solcher, deren Mittelpunkt von einem gröfseren Vulkan gebildet wird, um welchen sich mehrere kleinere Vulkane scharen, sogenannte sekundäre Ausbruchskegel, deren Bildung und Eruptionserscheinungen in naher Beziehung zur Thätigkeit des Hauptvulkans stehen. So bezeichnete L. v. Buch die Vulkane der Liparischen Inseln (mit dem fortwährend thätigen Stromboli als Mittelpunkt), den Ätna, den Vesuv mit den Phlegräischen Feldern, die Vulkane der Azoren (mit dem Pic von Pico als Mittelpunkt), der Canarischen Inseln (mit dem Pic von Teneriffa), der Cap-Verdischen Inseln (mit der Montagna di Fuego) u. a. als Centralvulkane [2]). Da der Begriff der Centralvulkane überall da herbeigerufen wird, wo die Reihenbildung nicht deutlich hervortritt, so müssen wir ihn als etwas Willkürliches ansehen. Es erscheint uns einfacher und richtiger, in solchem Falle eine Kreuzung mehrerer Spalten anzunehmen, durch welche die lineare Anordnung der Vulkane verdunkelt wird.

Die gesetzmäfsige Vereinigung der Vulkane zu Reihen läfst darauf schliefsen, dafs benachbarte Ausbruchsstellen durch tiefe Spalten der Erdrinde unter sich verbunden sind. Diese Spalten und Klüfte brauchen an der Oberfläche nicht sichtbar zu sein. Sie müssen als vernarbt, stellenweise zugeschüttet oder durch Gesteinsmassen gleichsam wieder verwachsen gedacht werden. Die überraschende Länge jener Spalten läfst uns ahnen, dafs sie weit in das Erdinnere hinabreichen. Hier-

[1]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 343. P. Scrope, Die Bildung der vulkanischen Kegel und Krater. Übersetzt von C. L. Griesbach. Berlin 1873. S. 7.

[2]) Leopold v. Buch, Physikalische Beschreibung der Canarischen Inseln Berlin 1825. S. 326 ff.

durch aber wird die Anschauung tiefer begründet, daſs die vulkanischen Kräfte auf groſse räumliche Entfernungen hin in Abhängigkeit von einander stehen und daſs auf solchen Linien jederzeit die Bildung eines neuen Vulkans erwartet werden darf.

Durchaus unzulänglich sind bis jetzt die Beobachtungen über eine alternierende Thätigkeit derjenigen Vulkane, die auf derselben Spalte liegen. Man hat sich hierbei auf folgende Wahrnehmungen berufen: Als im Jahre 1759 der Jorullo aufgerichtet wurde, trat für den Colima eine Periode der Ruhe ein. Wenn der Pic von Orizaba ruht, ist der Popocatepetl gewöhnlich um so erregter, und dasselbe zeigt sich auch am Tuxtla und am Iztaccihuatl. Es scheint sich somit die Reaktion im Innern der Erde auf der Vulkanspalte von Mexico in der Weise zu äuſsern, daſs abwechselnd bald der eine, bald der andere Krater mehr oder minder heftig thätig ist; doch läſst sich zur Zeit noch keine bestimmte Reihenfolge der vulkanischen Aktionen hierbei nachweisen. Früher glaubte man auch an eine alternierende Thätigkeit von Vesuv und Ätna. An Zeugnissen hierfür fehlt es nicht. So hatte der Vesuv vom 25. Juni bis 8. Juli 1723 eine Eruption, und im November darauf begann der Ätna Asche auszuwerfen und Lava zu ergieſsen. Von dem Ende des Jahres 1732 bis in den Januar 1733 hatte der Ätna einen Ausbruch, und im Juni des letzteren Jahres erfolgte eine Eruption des Vesuvs. Während dieser im Jahre 1832 etwa bis in den September thätig war, verhielt sich der Ätna vollkommen ruhig; als hingegen Ende Oktober der Ätna in Eruption geriet, blieb der Vesuv während deren heftigster Äuſserung in völliger Ruhe. Die angeführten Beispiele beziehen sich freilich nur auf geringe Zeiträume. Im übrigen läſst dieses Wechselspiel gar oft an Exaktheit viel zu wünschen übrig, und es dürfte daher kaum entschieden werden können, in wie weit wir es hier mit einem bloſs zufälligen Antagonismus zu thun haben oder nicht. Nur darauf sei noch hingewiesen, daſs Nachbarvulkane manchmal auch gleichzeitig ausbrechen. So erfolgten im Jahre 1728 auf Island zu derselben Zeit Eruptionen an acht verschiedenen Ausbruchsstellen, obwohl die meisten Vulkane dieser Insel auf einer Linie liegen, die von Südwest nach Nordost durch dieselbe gezogen werden kann. Auch waren im Jahre 1854 auf Kamtschatka die Vulkane Kliutschewskaja Sopka, Schiwelutsch und die Kleine Semätschik gleichzeitig in Eruption.

Ferner hat man bei den gröſsten Ausbrüchen des Pichincha in den Jahren 1539, 1577, 1587 und 1666, sowie bei denen des Cotopaxi in den Jahren 1532, 1533, 1742, 1746, 1766, 1768 und 1803 keine auffallenden Erscheinungen an anderen thätigen oder ruhenden Vulkanen von Quito wahrnehmen können. Dasselbe gilt von den

grofsen vulkanischen Ausbrüchen in Centralamerika. Selbst während der gröfsten Eruption amerikanischer Vulkane, der des Cosequina im Jahre 1835, verharrten die nahe gelegenen Krater des Izalco und des Vulkans von San Miguel ohne sichtbare Störung in ihrer gewöhnlichen Thätigkeit. Aus diesen Beispielen geht hervor, dafs nicht immer eine innige Beziehung besteht zwischen Vulkanen, die auf einer und derselben Spalte liegen, dafs vielmehr bisweilen auch für sie getrennte vulkanische Becken existieren, zwischen denen sich Mauern von festem Gestein befinden [1]).

Hinsichtlich ihrer Höhen- und Massenverhältnisse zeigen die Vulkane eben so grofse Verschiedenheiten wie die nichtvulkanischen Erhebungen der Erdoberfläche. Zu den niedrigsten Vulkanen gehören jedenfalls der Mendana auf den Santa-Cruz-Inseln (65 Meter hoch), der Tanna auf den Neuen Hebriden (nicht ganz 100 Meter hoch), sowie die 61 Auckland-Vulkane (Neuseeland), welche durchschnittlich 100 bis 200 Meter hoch sind und nur im Rangitoto (auf einer Insel am Eingang des Waitemata-Hafens) eine Höhe von 300 Metern erreichen [2]). Nach Fuchs [3]) ist der 6820 Meter hohe Chuquibamba in Peru der höchste Vulkan der Erde, wenn wir den von Fuchs noch als Vulkan angeführten 7072 Meter hohen Aconcagua (an der Ostgrenze Chiles) aus der Liste der Vulkane streichen; freilich sind beide von Pentland ermittelte Höhenwerte suspekt [4]). Nach diesen würden der Sahama an der peruanisch-bolivianischen Grenze (nach Pentland 6812 Meter hoch), der Cotopaxi in Quito (nach Bouguers trigonometrischer Messung 5754 Meter, nach W. Reifs' trigonometrischer Messung in seiner Nordspitze 5943 und in seiner Südspitze 5922 Meter hoch) [5]) und der Antisana in Quito (5833 Meter hoch) alle anderen Vulkane der Erde überragen. In der Alten Welt nehmen hinsichtlich ihrer Höhe der Elbrus (5660 Meter), der Demawend (5623 Meter) und der Grofse Ararat (5172 Meter) den ersten Rang ein.

Wichtiger noch als die absoluten Höhen der Vulkane sind uns ihre relativen, weil aus diesen die Massenhaftigkeit der Aufschüttung besser als aus jenen zu ersehen ist. So hat der Cotopaxi, da er sich auf 2900 Meter hohem Plateau erhebt, nur eine relative Höhe von c. 3000 Metern. Bedeutender und jedenfalls unübertroffen ist in dieser

[1]) Moriz Wagner, Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 443 f.

[2]) F. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 86.

[3]) l. c. S. 118.

[4]) Die Höhe des Aconcagua beträgt nach der sehr zuverlässigen, bisher noch nicht publizierten Messung Paul Güfsfeldts 6943 Meter.

[5]) Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. VIII (1873), S. 303 f.

Beziehung der Riesenbau der Kliutschewskaja Sopka, deren Fuſs am Meeresspiegel liegt, bei der somit absolute und relative Höhe zusammenfallen und die trotzdem die Montblanc-Höhe, nämlich eine Höhe von 4805 Metern erreicht[1]).

Man wird nun einwenden: Lassen sich solche Höhen mit der Aufschüttungstheorie in Einklang bringen? Oder sind sie nicht vielmehr ein Beweis für deren Unhaltbarkeit? Diese Fragen können nur an der Hand von Thatsachen beantwortet werden; wir weisen deshalb auf folgende Facta hin: Der Vulkan Gunung-Guntur auf Java warf nach Junghuhns Bericht[2]) am 4. Januar 1843 vormittags 9 bis 12 Uhr so viel Asche aus, daſs eine Fläche von 3480 geogr. Quadratminuten mit einer im Mittel 4 Par. Linien (9 Millimeter) dicken Schicht bedeckt wurde. Da nun eine Minute unter dem Äquator 5710 Par. Fuſs lang, also eine Quadratminute 32 598 100 Quadratfuſs groſs ist, und da ferner die Asche von einem Quadratfuſs Oberfläche bei 1 Linie Dicke 546 Gran wiegt (480 Gran = 1 Unze, 12 Unzen = 1 Pfund, 125 Pfund = 1 Ctr.), so betrug hiernach die Menge der Asche oder besser des Sandes, welchen der Vulkan von 9 bis 12 Uhr ausspie, 330 210 554 Centner.

So ungeheuer auch diese Masse an und für sich ist, so ist sie doch verhältnismäſsig klein gegen die gröſserer Eruptionen. Der kubische Inhalt jener 330 Millionen Centner würde erst einen Raum von 2644 Millionen Kubikfuſs (90,75 Millionen Kubikmeter) ausfüllen; da jedoch der Gunung-Guntur einen Kubikinhalt von etwa 25 000 Millionen Kubikfuſs (858,2 Millionen Kubikmeter) besitzt, so muſste er 9½mal so viel auswerfen, um den zum Aufbau seines Kegels notwendigen Stoff zu liefern. Und in der That haben manche Vulkane nicht bloſs so groſse Massen, sondern sogar noch gröſsere zu Tage gefördert.

Der Gunung-Tĕmboro auf der Insel Sumbawa schleuderte im April 1815 so viel Asche empor, daſs selbst die westlichen Teile der Insel Lombok 2 Fuſs (0,65 Meter) hoch davon bedeckt waren. Nach einer Berechnung und teilweisen Schätzung Junghuhns muſsten während der genannten Eruption nicht weniger als 9 Billionen Kubikfuſs (308 952 Millionen Kubikmeter) Asche gefallen sein, eine Masse, aus der man 8 bis 9 Berge von der Gröſse des Vesuvs und 360 von der des Gunung-Guntur (= 858 Millionen Kubikmeter) würde bilden

[1]) Die Höhe der Kliutschewskaja Sopka wurde 1828 auf 15 040 P. Fuſs (4886 Meter) bestimmt, von Erman aber im Jahre 1829 81 Meter geringer befunden und zwar vermutlich infolge eines Einsturzes. O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgeg. von S. Ruge). München 1877. S. 617 f.

[2]) Java etc. Bd. II, S. 80.

können[1]). Und doch ist, wie Junghuhn ausdrücklich bemerkt, der obige Wert nicht als Maximal-, sondern als Minimalwert zu betrachten.

Ferner hat Junghuhn im Jahre 1843 den Rauminhalt der Massen festzustellen versucht, welche der Gunung-Pepandajan in der Nacht vom 11. zum 12. August 1772 bei einem furchtbaren Ausbruche in wenigen Stunden ausstreute. Nach seiner Schätzung umfaſste das mit Auswürflingen überzogene Areal 18 Quadratminuten, und die durchschnittliche Dicke der Schicht betrug 50 Fuſs (16,24 Meter); somit war das Volumen der Auswürflinge gleich 29343 Millionen Kubikfuſs (1007 Millionen Kubikmeter). Letzteres war also immer noch bedeutender als die ganze Masse des Gunung-Guntur[2]).

Alle die bisher angeführten Beispiele werden in den Schatten gestellt durch das von isländischen Vulkanen im Jahre 1783 ausgeworfene Material, wovon man mehr als 700 Berge von der Gröſse des Gunung-Guntur und 18 von der des Vesuvs hätte bilden können. Die Lavamassen bedeckten 60 Quadratmeilen Land 600 Fuſs (195 Meter) hoch, und ihr Volumen wurde zu 18714240 Millionen Kubikfuſs (642422,4 Millionen Kubikmeter) berechnet. Ebenso zeigen einzelne Lavaströme in der Auvergne nach Le Coq folgende ansehnliche Volumina[3]):

Graveneire	57	Millionen Kubikmeter
Pariou	33	„ „
Mont Sinuire	172	„ „
Come	344	„ „

Der mächtige Lavastrom, welchen der Mauna Loa nach seinem Ausbruch am 5. November 1880 in sechs Tagen entsandte, soll bei einer durchschnittlichen Höhe von 6 Metern und einer Breite von 1200 Metern 96,5 Kilometer weit geflossen sein; er lieferte demnach ein Material von 694,8 Millionen Kubikmetern.

Mag auch die Kubation vulkanischer Massen teilweise eine äuſserst schwierige, leicht zu irrigen Resultaten führende Arbeit sein, so dürfte

[1]) Wenn Junghuhn meint, es würden sich aus jener Masse 3 solche Berge wie der Montblanc und 173 von der Gröſse des Vesuvs daraus herstellen lassen, so ist er im Irrtum. Er rechnet hierbei die Masse des Montblanc zu 94711 Millionen und des Vesuvs zu 1782 Millionen Kubikmeter. Auf Grund genauerer Zahlenwerte (Gustav Leipoldt, Über die mittlere Höhe Europas. Plauen i./V. 1874. S. 30) ermittelte ich für die Montblanc-Gruppe einen Kubikinhalt von 2,9 Billionen Kubikmeter, wovon 1,6 Bill. auf den Gebirgssockel und 1,3 Bill. auf den darüber liegenden Gebirgsrücken kommen; der Vergleich mit dem Montblanc ist also zweifellos ganz unzutreffend. Auch hat Junghuhn das Volumen des Vesuvs mindestens um das 20fache unterschätzt; das vom Gunung-Těmboro gelieferte Material übertrifft also die Masse des Vesuvs nur um das 8- bis 9fache.

[2]) Franz Junghuhn, l. c. Bd. II, S. 103.

[3]) Nach Le Coq (Époques Géolog. d'Auvergne. Tome IV) in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLXIII (1873), p. 211.

doch wenigstens so viel feststehen, dafs die Höhen- und Massenverhältnisse der Vulkane der Aufschüttungstheorie nicht widersprechen.

Am Schlusse unserer Betrachtungen über den Vulkanismus sei es uns verstattet, noch einige Worte über die homogenen Vulkane hinzuzufügen. Wie wir oben sahen, sind die Stratovulkane meist aus gröfseren oder kleineren losen Auswürflingen zusammengesetzt; ihre architektonische und petrographische Beschaffenheit ist hauptsächlich durch die zahlreichen Dampfexplosionen bedingt. Kommen hingegen die Laven nicht mit dem Wasser in Konflikt, fehlen also die Dampfentwicklungen und die damit verbundenen Explosionen, so steigen die Lavamassen ruhig und ohne Unterbrechung durch die nach oben führenden Kanäle empor und stauen sich dort, wenn sie zähflüssig sind, zu glockenförmigen Bergen, sogenannten Domvulkanen, auf oder breiten sich, wenn sie leichtflüssig sind, zu vulkanischen Decken aus. Ihren ursprünglichen Eruptionskanal haben wir uns als gänzlich ausgefüllt zu denken. Man nennt sie nach K. v. Seebachs Vorgang [1]) homogene Vulkane, weil sie nicht, wie die Stratovulkane, aus verschiedenartigen, in zahlreichen Straten über einander gelagerten vulkanischen Produkten bestehen, sondern sich durch ein einmaliges Hervorquellen glutflüssiger Massen gebildet haben, also gewissermafsen aus einem Gusse hervorgegangen sind. Zwar findet sich auch bei ihnen keine vollständige Gleichförmigkeit des Materials; vielmehr zeigen sich häufig zugleich Ablagerungen von Tuff und vulkanischem Schutt; aber doch treten letztere im Vergleich zu ihrer Menge an den Stratovulkanen hier bedeutend zurück. In ihrem Äufseren unterscheiden sie sich von den Stratovulkanen durch gänzliches Fehlen des Kraters. Zu ihnen zählen die Basalt-, Trachyt-, Phonolith- und Andesitkuppen aller vulkanischen Gebiete der Erde. Auch Deutschland hat seine homogenen Vulkane; wir begegnen ihnen in Menge in der Eifel, dem Siebengebirge, dem Westerwald, dem Vogelsgebirge, der Rhön, dem Elbsandsteingebirge, dem Lausitzer Gebirge und anderwärts.

Seitdem man den Begriff der Vulkane in der angegebenen Weise erweitert hat, indem man den ursprünglich als solche bezeichneten Stratovulkanen die Basalt-, Trachyt- und Phonolithkegel als homogene Vulkane beiordnete, ist zwischen den eruptiven Gebilden der Jetztzeit und der Vorzeit ein enges Band hergestellt worden. In der That existiert ein solches; denn beide sind entstanden durch das Aufdringen glutflüssiger Massen, nur dafs sich dies bei den ersteren unter wesentlicher Mitwirkung des Wassers, bei den letzteren jedoch ohne dieselbe vollzogen hat.

[1]) Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XVIII (1866), S. 643 ff.

V. Erdbeben.

Wenn wir dem Abschnitt, welcher dem Vulkanismus gewidmet war, die Betrachtung der Erdbeben folgen lassen, so könnte es scheinen, als ob wir beiden einen streng ursächlichen Zusammenhang zuerkennen und die letzteren aus dem ersteren ableiten wollten. Wir bemerken darum schon im Eingang, dafs Erdbeben und Vulkanismus zwar oft verschwistert sind, dafs hingegen Erderschütterungen auch nicht selten auf andère als vulkanische Kräfte zurückgeführt werden müssen.

Bis zum Jahre 1858 wufste man nur gänzlich Ungenügendes über Erdbeben; erst von da ab verbreitete sich durch die strengen Untersuchungen Mallets Licht über jene Erscheinungen. Seine bedeutsamen Arbeiten knüpfen sich an das Erdbeben, von welchem Calabrien am 16. Dezember 1857 heimgesucht wurde. Schon im Januar 1858 begab er sich nach dem Schauplatz der Verheerungen, um die dortigen Vorgänge genauer zu erforschen [1]).

Erdbeben können absichtlich hervorgerufen und überwacht werden [2]). Jeder Stofs, jedes Stampfen auf den Erdboden verursacht eine Erderschütterung. Der grofse Dampfhammer in der Kruppschen Gufsstahlfabrik bei Essen, der ein Gewicht von 1000 Centnern und 3 Meter Hubhöhe hat, versetzt bei seinem Herabfallen die ganze Fläche umher bis zu 4 Kilometer Entfernung in merkbare Schwingungen. Der Schlag ist so heftig, dafs Gebäude in beträchtlichem Abstand von dem Hammer beschädigt wurden. Jeder Schufs aus einem Belagerungsgeschütz, jede springende Mine in einem Bergwerk oder einem Steinbruch erzeugt ein Erdbeben; ja jeder schwere Wagen, der durch

[1]) R. Mallet, The great Neapolitan Earthquake of 1857. London 1862.

[2]) Das Nachfolgende schliefst sich zum Teil eng an den Aufsatz Peschels „Über das gegenwärtige Wissen von den Erdbeben“ im Ausland 1869, S. 1124 ff. O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausgeg. von J. Löwenberg). Leipzig 1878. Bd. II, S. 281—292.

unsere Strafsen rasselt, erschüttert unsere Gebäude und macht die Fenster klirren. Mit Hilfe eines sogenannten künstlichen Horizonts, einer äufserst empfindlichen optischen Vorrichtung[1]), konnte Mallet beobachten, dafs eine Quecksilberoberfläche noch auf 100 Yards (91,4 Meter) Entfernung von dem mäfsigen Schlag eines Hammers auf Gestein und auf 50 Yards (45,7 Meter) Entfernung durch Stampfen des Fufses erschüttert wird. Als im Jahre 1810 von der bekannten Shakespeare-Klippe ein Stück ins Meer sank, wurde in Dover eine Erschütterung gespürt wie von einem Erdbeben, und noch viel stärker war der Stofs im Jahre 1772 infolge einer gleichen Veranlassung. Was wir also gewöhnlich unter Erdbeben verstehen, unterscheidet sich von den angeführten Thatsachen nur durch die Stärke der Erschütterung.

Nach Mallets Versuchen pflanzen sich bei Entzündung von Minen die Erschütterungen mit ungleicher Geschwindigkeit fort je nach der Beschaffenheit des erschütterten Bodens, und zwar wächst die Schnelligkeit der Bewegung mit der Dichtigkeit desselben. Unter sonst gleichen Verhältnissen betrug die Geschwindigkeit bei Sand 825 engl. Fufs (251,5 Meter), bei stark zerklüftetem Granit 1306 engl. Fufs (398,1 Meter) und bei dichter geschlossenen Granitmassen 1665 engl. Fufs (507,5 Meter) in der Sekunde. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist stets um so gröfser, je stärker der Stofs ist. Deshalb nimmt dieselbe ab, je weiter die Erschütterungswelle auf ihrem Pfade fortschreitet. So verminderte sich die Geschwindigkeit einer durch Explosion von 200 Pfund Dynamit hervorgebrachten Welle von 2661 Metern per Sekunde in der Entfernung einer engl. Meile auf 1609 Meter in 5 Meilen Entfernung[2]). Von der Geschwindigkeit, mit welcher die Stofswelle vorrückt, ist jedoch die des einzelnen Wellenteilchens zu unterscheiden. Sind auch beide in gewissen Beziehungen von einander abhängig, so dürfen sie doch nicht mit einander verwechselt werden. So ermittelte Mallet beispielsweise für das calabrische Erdbeben eine Geschwindigkeit der Welle von 1000 engl. Fufs (304,8 Meter), eine Geschwindigkeit der Wellenteilchen von nur 8 engl. Fufs (2,4 Meter) in der Sekunde. Die letztere Bewegung beträgt bei Erdbeben oft nur 1 bis $1^1/_3$ Meter, im Mittel 3 bis 5 Meter und hat im Maximum 25 Meter in der Sekunde nie überschritten. Die Geschwindigkeit der Wellenteilchen ist überdies der Mafsstab für die unheilanrichtende Gewalt des Stofses, d. h. der Bewegung, welche der Stofs festen Gegenständen, wie Gebäuden u. s. w. aufdrücken kann.

[1]) Jede ungestörte, spiegelnde Flüssigkeit ist ein künstlicher Horizont; den vollkommensten gewährt ein Gefäfs mit Quecksilber.

[2]) Nach Abbot in dem American Journal of Science. Vol. XV (1878), p. 178 sq.

Die Form der Bewegung ist die einer Welle von einer äufserst flachen Wölbung und Vertiefung, sowie grofser Breite. Das beste Gleichnis von der Art jener doppelten Bewegung gewährt ein Kornfeld, dessen Halme vom Winde bewegt werden. Bei der letzteren Erscheinung mufs man zweierlei streng unterscheiden: nämlich die Bewegung der Ährenwelle über das Feld und die Bewegung der einzelnen Ähre, die vollendet ist, wenn sie sich gebeugt und wieder aufgerichtet hat. Die Ährenwelle bewegt sich nämlich viel rascher als die einzelne Ähre, und genau so ist es bei Erdbeben; denn während sich die Stofswelle sehr rasch fortsetzt mit der halben Geschwindigkeit einer abgeschossenen Kanonenkugel, bewegt sich das einzelne Körperchen, durch welches die Welle hindurchgeht, vielleicht nur wie ein etwa $^2/_3$ bis 1 Meter tief frei fallender Körper. Auch das Bild eines von einem Steinwurf getroffenen Wasserspiegels mit seinen Wellenkreisen giebt uns eine gute Vorstellung von jener Doppelbewegung der Erdbebenwellen. Die durch den gefallenen Stein erregten Wellenkreise ziehen rasch über die weite Wasserfläche hinweg; die einzelnen Wasserteilchen hingegen schweben nur ein wenig auf- und abwärts, wie wir dies an einem auf der Wasserfläche schwimmenden Blatte deutlich erkennen.

Die Erdbebenwelle mufs sich durch verschiedene Mittel fortpflanzen: sie schreitet über Ebenen und felsige Gebirge, durch Landseen und Meeresstücke. Ihre Wirkung ist daher eine verschiedene. Im allgemeinen darf man sagen, dafs die See stärker erschüttert und somit mehr aus ihrem Gleichgewicht gebracht wird als das Land und eine Ebene, die ja meist aus lockerem Erdreich besteht, mehr als ein angrenzendes felsiges Hochland. Darum sind die Erdbeben auf sandigem Terrain relativ häufig (weil sie hier leichter bemerkt werden) und von schlimmeren Folgen begleitet als anderwärts. Krystallinisches Terrain dagegen ist vergleichsweise besser gegen Erdbeben geschützt als z. B. Schwemmland. Daher erscheint Skandinavien als ein nahezu erdbebenfreier Raum; daher bleiben Häuser, welche auf Fels gegründet sind, oft erhalten, während die auf Sandboden in unmittelbarer Nähe erbauten zerstört werden. So ergab sich z. B. aus den sorgfältigen Untersuchungen von Sharpe, dafs bei dem Erdbeben von Lissabon im Jahre 1755 die auf dem Hippuritenkalk und Basalt stehenden Häuser unversehrt blieben; die auf den festeren tertiären Schichten errichteten Gebäude wurden mehr oder weniger beschädigt; alle auf den weichen Mergeln gelegenen aber wurden umgestürzt und zertrümmert [1]).

[1]) Edinb. New philos. Journal. Vol. XX, p. 116. Ähnliches wurde beobachtet bei dem Erdbeben von Belluno (Norditalien) am 29. Juni 1873. Vgl.

Die mächtigsten Wirkungen aber treten dann ein, wenn eine Erdstofswelle erst über eine Ebene gerollt ist und ein Massengebirge erreicht. Wird der Gebirgskamm dann auch nur ganz unmerklich und die Ebene selbst nur sehr mäfsig erschüttert, so erfolgen dafür an den Rändern beider Gebiete, besonders da, wo die Ebene am Gebirgsabhang sich aufrichtet, die schlimmsten Störungen, wie man dies bei dem calabrischen Erdbeben von 1783 beobachtet hat, wo alle weicheren Erdarten, die auf der Granitachse des Gebirges auflagerten, am heftigsten gestört wurden.

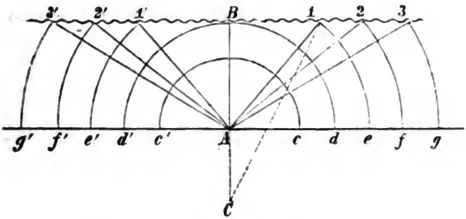
Bedeutsam sind besonders Mallets Untersuchungen über den Ursprungsort der Bewegung oder mit anderen Worten über den Herd der Erschütterung. Denken wir uns, dafs in einem gröfseren Umkreise um den Ausgangspunkt des Stofses in mäfsigen Entfernungen Obelisken aufgestellt wären, so würden diese sämtlich in der Richtung der Erschütterung umfallen und zwar, wo nicht absonderliche Verhältnisse obwalten, mit der Spitze nach einwärts. Man braucht also nur den von ihnen angedeuteten Richtungen zu folgen, so wird man dort, wo sich die Linien schneiden, an der Oberfläche der Erde den Punkt finden, von welchem scheinbar die Erschütterung ausging. Mallet suchte nun auf dem Schauplatz der calabrischen Verheerungen diejenigen umgestürzten Bauwerke aus, welche am unzweideutigsten die Richtung des Stofses durch ihre Trümmer bezeugten. Hierauf entwarf er auf einer Karte 60 Pfade der Erschütterungswelle. Sie alle führten in einen Kreis von $1^1/_4$ geogr. Meile Durchmesser, dessen Mitte die Stadt Caggiano einnahm. Wiederum vereinigten sich 48 von jenen 60 in einem concentrischen Kreise von 4650 Meter Durchmesser, 32 in einem Kreise von etwa 1850 Meter Durchmesser, endlich 16 in einem Raume von nur 460 Meter Durchmesser, dem Mittelpunkt aller übrigen Kreise. Dort lag also der Focus oder Ausstrahlungspunkt an der Erdoberfläche, das sogenannte Epicentrum. Eine Anzahl anderer, hier ausgeschlossener Bestimmungen hat sich mit Sicherheit als ein gesondertes System reflektierter Richtungen erwiesen. Das Oberflächencentrum ist daher in sehr befriedigender Weise, ja mit grofser Genauigkeit ermittelt worden.

Allein an der Erdoberfläche selbst durfte nicht der Ausgangspunkt gesucht werden, sondern in der Tiefe. Es galt nun, den wirklichen Ausgangspunkt der Erschütterung im Erdinnern festzustellen. Bestände unsere Erdrinde aus einer ganz gleichförmigen, also gleich elastischen Masse und erfolgte der erste Stofs irgendwo in der Tiefe, so müfste

R. Hoernes im Jahrbuch der K. K. geologischen Reichsanstalt. Bd. XXVIII (1878), S. 411 f.

sich die Stofswelle in concentrischen Sphären verbreiten. Ist der Sitz des Stofses bei *A* (Fig. 38), so wird die Welle zunächst an dem Kreisbogen *cc'*, dann *dd'*, dann *ee'*, dann *ff'*, dann *gg'* anlangen. Erst bei *B* erreicht sie jedoch die Erdoberfläche als senkrechter Stofs, bei

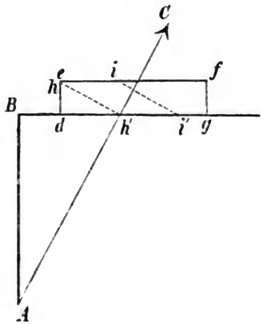
Fig. 38.



Das Fortschreiten eines Erdstof es schematisch dargestellt.

1 und *1'* schon unter beträchtlichen Winkeln, und je weiter sie sich fortpflanzt, unter immer stumpferen Winkeln. Fern vom Focus werden die Stöfse beinahe horizontal erfolgen. Denken wir uns aber, dafs der Stofs von *C* kam, so lehrt die Figur selbst, dafs dann bei *1* die Richtung des Stofses mit der Oberfläche einen viel steileren Winkel bildet, als wenn der Sitz des Stofses bei *A*, also seichter gewesen wäre. Ist durch die vorausgehenden Untersuchungen der Punkt *B* ermittelt worden, der sich senkrecht über dem Focus befindet, so wird man nun Bauwerke, z. B. Mauern aufsuchen, die mit der Richtung des Stofses in gleicher Ebene liegen, wie es bei Fig. 39 von *defg* vorausgesetzt wird. In dieser Mauer werden sich normal zur Richtung des Stofses parallele Risse *hh'* und *ii'* zeigen, und eine einfache Rechnung lehrt dann, da nun der Winkel *Bh'C* bekannt ist, welche Tiefe unter *B* dem Ursprungsort des Stofses (*A*) zukommt. Je mehr wir uns von dem Ort *B*, wo der

Fig. 39.



Ermittelung des Erdbebenherdes aus der Lage von Mauerrissen.

Stofs senkrecht war, entfernen, desto mehr werden sich die Risse an günstig gelegenen Bauwerken einer Vertikalen nähern.

Aus 26 Stofsrichtungen berechnete Mallet nach dem Austritts-(Emersions-)Winkel die Tiefe des Focus. Die gröfste dadurch angezeigte Tiefe war 15073 Meter oder $2^1/_{32}$ geogr. Meilen; allein bei 23 Stofsrichtungen blieb die Tiefe geringer als 13218 Meter oder $1^{25}/_{32}$ geogr. Meile; 18 Stofsrichtungen ergaben fast übereinstimmend 10667 Meter oder $1^7/_{16}$ geogr. Meile, und dies war jedenfalls der wahre Ausgangspunkt des Stofses. Wahrscheinlich hat der Erdbebenherd eine gröfsere vertikale Ausdehnung gehabt. Die geringste Tiefe, die gefunden wurde, betrug nur 5102 Meter oder $^{11}/_{16}$ geogr. Meile. Wir können also sagen, dafs aus einer Tiefe von etwa $1^1/_2$ geogr. Meile der Stofs erfolgte.

Neuerdings hat sich insbesondere Karl v. Seebach[1]) hohe Verdienste um die Erforschung der bei den Erdbeben in Betracht kommenden Elemente erworben. Wir geben in dem folgenden die Hauptresultate seines vorzüglichen Werkes über das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872.

Es ist unmittelbar klar, dafs Mallets Methoden der Berechnung für das genannte Erdbeben nicht brauchbar waren. Hatte dasselbe zahlreiche Gegenstände umgestürzt und umgeworfen, so waren dieselben doch meist zu klein gewesen, als dafs man nachträglich noch hätte Messungen vornehmen können. Auch die Spalten, welche einzelne Gebäude im östlichen Thüringen und im Osterlande zeigten, erwiesen sich weder bedeutend, noch geeignet genug zu weiteren Untersuchungen. Überhaupt wird Deutschland — auch der Forscher wird sagen müssen glücklicher Weise — nur äufserst selten von Erdbeben heimgesucht, deren Wirkungen verheerend genug sind, das von Mallet durchgeführte Verfahren zu gestatten. Es ist daher für die schwächeren deutschen und nordwesteuropäischen Erdbeben eine andere als die Malletsche Methode erforderlich.

Den von Jul. Schmidt in Athen bereits 1847, sowie von Fr. Pfaff 1860 gemachten Andeutungen folgend, gelang es K. v. Seebach, aus der Zeit, zu welcher die Erdbebenbewegung an zahlreichen Orten beobachtet wurde, den Oberflächenmittelpunkt, die Tiefe des wahren Erdbebenherdes unter diesem, die mittlere (wahre) Fortpflanzungsgeschwindigkeit und den Zeitpunkt des ersten Anstofses zu berechnen, während sich die Geschwindigkeit der einzelnen Oscillationen nicht direkt ableiten läfst.

Notwendige Voraussetzung für die Seebachsche Methode, ebenso

[1]) Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872. Leipzig 1873.

wie zuvor für das Malletsche Verfahren, ist die mit der Wahrheit allerdings nicht übereinstimmende Annahme eines homogenen, leitenden Mediums, d. h. einer allseitig konstanten, ungebrochenen Leitung der festen Erdkruste. Doch läfst sich keine andere Voraussetzung an ihre Stelle bringen, und ebenso wenig wie die bisher vorgeschlagenen Methoden werden sich spätere auf eine andere Basis stellen können.

v. Seebach hat Berichte aus 324 verschiedenen Orten gesammelt[1]), von denen 149 Zeitbestimmungen enthielten; doch waren nur 102 davon für seine Berechnungen brauchbar. Auch diese gehen noch so kraus durch einander, dafs man es auf den ersten Blick für unmöglich hält, in ihnen ein leitendes Gesetz zu erkennen. Indes liefsen sich doch nach einer sorgfältigen Sichtung derselben die oben angeführten Elemente mit annähernder Sicherheit ermitteln und zwar in folgender Weise:

Was die Lage des Oberflächenmittelpunktes (Epicentrum) betrifft, so folgt v. Seebach den Angaben Hopkins'. Unter der Voraussetzung einer homogenen Erdkruste und somit auch einer ungebrochenen und konstanten Leitung müssen die Zonen gleichzeitiger Erschütterung gleichweit vom wahren Erdbebenherde abstehen und daher auch alle gleichzeitig erschütterten Orte auf der Erdoberfläche gleichweit vom Oberflächenmittelpunkte entfernt liegen. Verbindet man Orte, in denen das Erdbeben gleichzeitig verspürt wird, durch Linien, so erhält man Kurven (von v. Seebach als Homoseisten bezeichnet), welche bei homogener Erdkruste Kreise sein müfsten und wohl häufig annähernd als solche betrachtet werden dürfen. Verbindet man zwei Orte einer Homoseiste durch eine Gerade und errichtet im Mittelpunkt der Verbindungslinie ein Lot, so ist dieses natürlich der geometrische Ort des Oberflächenmittelpunktes, die Gegend aber, in der mehrere solcher Lote sich schneiden, die Gegend des Oberflächenmittelpunktes selbst. Als Fundamentalzeiten betrachtete v. Seebach bei dem Erdbeben von 1872 die in Göttingen, Leipzig, Eger und Halle a./S. beobachteten, und er fand den Oberflächenmittelpunkt nahe östlich bei Amt-Gehren, etwa in 50° 38,6′ n. Br. und 8° 41,25′ ö. L. von Paris. In derselben Weise ermittelte A. v. Lasaulx[2]), dafs der Oberflächenmittelpunkt des Erdbebens von Herzogenrath am 22. Oktober 1873 ganz nahe bei Pannesheide, südwestlich von Herzogenrath und dicht an der holländisch-preufsischen Grenze lag unter

[1]) l. c. S. 6—103.

[2]) Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. Oktober 1873. Bonn 1874. S. 108.

50° 52′ 51″ n. Br. und 3° 41′ 15″ ö. L. von Paris. Fast genau dieselbe Stelle war auch am 24. Juni 1877 der Ausgangspunkt einer Erderschütterung [1]).

Natürlich gelten die obigen Auseinandersetzungen nur für den Fall, dafs die Erschütterung von einem Punkt oder wenigstens von einem eng begrenzten Distrikt ausgeht. Ist hingegen der Erdbebenherd eine Linie (etwa ein langer Spalt), so schliefsen sich die Punkte gleichzeitiger Erregung nicht zu Kreisen, sondern zu lang gestreckten Ellipsen zusammen; sie ähneln jenen Kurven, welche eine Teichoberfläche zeigt, wenn statt eines Steines ein langer Pfahl in das Wasser geworfen wird. In diesem Sinne entwickelte sich z. B. das Schweizer Erdbeben vom 4. Juli 1880, welches gleichzeitig auf einer langen, quer über die Alpen liegenden Zone wahrgenommen wurde. Heim [2]) schlofs hieraus, dafs die Ursache desselben in einer ruckweisen Bewegung eines ausgedehnten Stückes der Erdrinde zu suchen sei. Ist der Ausgangsort der Erschütterung unregelmäfsig gestaltet, so werden dies die unregelmäfsigen Formen der Wellenlinien deutlich verraten. Der Rifs beim calabrischen Erdbeben begann nach Mallets Berechnung in einer Tiefe von etwa einer geographischen Meile und erstreckte sich weiter abwärts bis zu einer Tiefe von 1¾ geogr. Meile, nicht genau senkrecht, sondern mit einer Neigung gegen Südosten, auch nicht gerade streichend, sondern gekrümmt auf etwa 2¼ geogr. Meilen Ausdehnung. Wahrscheinlich ist der Herd der meisten Erdbeben ein Spalt, bisweilen sogar ein System von Spalten, und dementsprechend werden die Homoseisten nicht selten von der Kreisform mehr oder weniger abirren. Nach Hanns Höfer gleichen die Homoseisten für das Erdbeben von Herzogenrath (1873) dreilappigen Blättern. Wären die dabei zu Grunde gelegten Zeitangaben vollständig zuverlässig, so ginge hieraus hervor, dafs drei sich schneidende Spalten als Herde dieses Erdbebens zu betrachten sind [3]).

Um die wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit, den Zeitpunkt des ersten Anstofses und die Tiefe des Erdbebenherdes zu bestimmen, hat v. Seebach folgende graphische Methode in Anwendung gebracht, wobei wir für die zur Begründung derselben entwickelten Formeln auf das Werk selbst (S. 159 ff.) verweisen.

Gehen wir wieder von der (allerdings niemals völlig zutreffenden) Grundbedingung aus, dafs die an irgend einem Punkte des Erdinnern

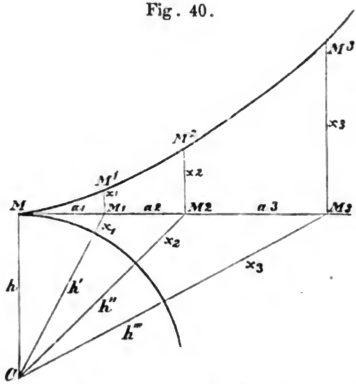
[1]) A. v. Lasaulx, Das Erdbeben von Herzogenrath am 24. Juni 1877. Bonn 1878.

[2]) Die schweizerischen Erdbeben vom November 1879 bis Ende 1880. Bern 1881. S. 18—20.

[3]) Jahrbuch der K. K. geologischen Reichsanstalt zu Wien. Bd. XXVIII (1878), S. 467—484 und Tafel XII.

entstehende Erdbebenwelle sich nach allen Richtungen hin durch ein homogenes Medium bewegt, so läfst sich die theoretische Grundlage der Seebachschen Methode leicht erfassen. Wäre der Erdmittelpunkt zugleich auch der Mittelpunkt des Erdbebens, so würde die Erschütterung nahezu gleichzeitig an allen Punkten der Erdoberfläche beobachtet werden. Liegt aber der Erdbebenmittelpunkt an irgend einer der Erdoberfläche näheren Stelle und denkt man sich hierbei der Einfachheit wegen die Erdoberfläche als eine Ebene, somit ihre Projektion als eine gerade Linie, was namentlich bei Erdbeben von kleinerer Verbreitung keine nennenswerten Unrichtigkeiten herbeiführt, so treten dann die Verhältnisse ein, wie sie durch Fig. 40 dargestellt werden. Wenn C den Erdbebenherd, M das Epicentrum, h die Entfernung beider bezeichnet, so braucht die Stofswelle, um die Strecke CM zu durchschreiten, eine gewisse Zeit t, welche gleich ist der Entfernung h dividiert durch die Geschwindigkeit c. Für den Oberflächenpunkt M_1, der sich in einem bestimmten Axialabstande a_1 von M befindet, ist der zu durchlaufende Weg um die Strecke x_1 länger, für M_2 um x_2, für M_3 um x_3 u. s. w. In gleichem Verhältnis wie die zu durchlaufenden Wege werden auch die Zeiten gröfser, in welchen diese Strecken zurückgelegt werden. Erreicht die Welle den Punkt M in der Zeit $t = \frac{h}{c}$, so gelangt sie nach M_1 in

Fig. 40.



v. Seebachs graphische Methode, die Erdbebenelemente zu bestimmen.

$t_1 = \frac{h + x_1}{c}$, nach M_2 in $t_2 = \frac{h + x_2}{c}$ u. s. w.

K. v. Seebach kommt nun zu dem Schlusse: Wenn man bei gegebenem Oberflächenmittelpunkt auf die Abscissenachse eines Coordinatensystems, dessen Nullpunkt im Oberflächenmittelpunkte gedacht wird, die Axialabstände der Orte von diesem a_1, a_2, a_3 u. s. f. in Meilen aufträgt, dagegen auf der Ordinatenachse mit dem gleichen Mafsstabe die beobachteten Zeitmomente t_1, t_2, t_3 u. s. f. in Minuten

einzeichnet, so beschreiben die Orte M_1, M_2, M_3 u. s. f. eine Hyperbel (vgl. die obere Hälfte der Figur 40). Der Grad der Genauigkeit, mit dem sie dies thun, gewährt zugleich einen Maſsstab für die Güte der Zeitbestimmungen.

In der Theorie ist diese Methode eine ganz exakte und zugleich elegante, da durch Konstruktion der Hyperbel unmittelbar alle drei der oben genannten Gröſsen ermittelt werden. Man verfährt hierbei einfach in folgender Weise. Man teilt ein Papier netzförmig in Quadrate ein, nimmt eine der horizontal laufenden Linien als Abscissenachse und bezeichnet die Entfernung je zweier vertikal laufender Linien z. B. als eine Meile. Andrerseits wird eine der Vertikalen zur Ordinatenachse gemacht, und der Zwischenraum zwischen je zwei Horizontalen vertritt in der Zeichnung eine Minute. Ferner weist man jedem Orte je nach seiner Entfernung vom Oberflächenmittelpunkte und der Zeit, in welcher er von der Erdbebenwelle getroffen wurde, innerhalb jenes Netzes die ihm gebührende Stellung zu. Verbindet man nun die Punkte der Orte mit einander, so müſste man bei absoluter Genauigkeit aller hier in Betracht kommenden Werte eine Hyperbel erhalten.

Aus dieser lassen sich die gesuchten Elemente direkt ableiten. Man kann aus dem Netze sofort ersehen, wieviel Meilen die Bewegung in einer Minute zurücklegt; dasselbe zeigt demnach die wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Der Punkt, in welchem die ausgezogene Asymptote die Ordinatenachse (d. i. zugleich die Erdbebenachse) schneidet, gestattet uns, den Zeitpunkt des ersten Anstoſses unmittelbar abzulesen. Endlich belehrt uns der Abstand dieses Schnittpunktes von dem Scheitel der Hyperbel über die Zeit, welche das Erdbeben brauchte, um von dem wahren Erdbebenherde bis zu dem Oberflächenmittelpunkte zu gelangen, und da seine Geschwindigkeit bekannt ist, so läſst sich sofort die Länge dieses Weges angeben, womit denn auch die Tiefe des Erdbebenherdes bestimmt ist. Es werden demnach die genannten Elemente durch diese Methode leicht gewonnen.

Aus dem Netze auf Tafel I des Seebachschen Werkes läſst sich ohne weiteres erkennen, daſs die mittlere wahre Geschwindigkeit des Erdbebens vom 6. März 1872 6 geographische Meilen in der Minute oder 742 Meter in der Sekunde betrug. Der erste Anstoſs zu diesem Erdbeben erfolgte nach Berliner Zeit um 3 Uhr 56 Minuten 9 Sekunden nachmittags. Dagegen war es K. v. Seebach nicht möglich, die Tiefe des Erdbebenherdes nach dieser Methode zu berechnen, da die ihm zu Gebote stehenden Zeitangaben viel zu wenig exakt waren, als daſs sie zur Konstruktion des stärker gekrümmten Hyperbelstückes und seines Scheitels genügt hätten. K. v. Seebach griff deshalb zu der Methode Mallets zurück und wandte sie auf einen allerdings

ganz vereinzelten Fall von Häuserrissen an, die in einem Hause zu Apolda entstanden und durch Direktor Compter genau gemessen worden waren. Es ergab sich auf diesem Wege, daſs der wahre Herd des Erdbebens vom 6. März 1872 wahrscheinlich nicht weniger als 1,94 geogr. Meilen (14 395 Meter)[1]) und nicht mehr als 2,91 geogr. Meilen (21 592 Meter) tief lag und die mutmaſsliche Tiefe = 2,42 geogr. Meilen (17 956 Meter) zu setzen ist.

Zum Vergleich der von K. v. Seebach für das mitteldeutsche Erdbeben von 1872 gefundenen Werte mit den für andere Erdbeben ermittelten Elementen geben wir nach A. v. Lasaulx[2]) mehrere Tabellen wieder, in welchen die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, Tiefen des Herdes und Intensitäten mehrerer neuerer Erdbeben zusammengestellt sind.

	Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erschütterung in der Minute	in der Sekunde
	Geogr. Meilen	Meter
1. Mitteldeutsches Erdbeben vom 6. März 1872	6	742[3])
2. Rheinisches Erdbeben vom 29. Juli 1846	4,59	567,6
3. Erdbeben von Herzogenrath vom 22. Oktober 1873	2,67	360,2
4. Neapolitanisches Erdbeben vom 16. Dezember 1857	2,1	259,7
5. Erdbeben von Sillein (im nordwestlichen Ungarn) vom 15. Januar 1858..........	1,66	206

	Tiefe des Erdbebenherdes (in Metern) Minimum	Mittel	Maximum
1. Rheinisches Erdbeben von 1846[4])......		38 806	
2. Erdbeben von Sillein von 1858		26 266	
3. Mitteldeutsches Erdbeben von 1872	14 395	17 956	21 592
4. Erdbeben von Herzogenrath von 1873..	5 045	11 130	17 214
5. Neapolitanisches Erdbeben von 1857 ...	5 102	10 667	15 073

[1]) Die Abweichungen der Meterangaben von den bei K. v. Seebach angeführten Zahlen beruhen darauf, daſs v. Seebach für die Meile eine unrichtige Meterzahl angenommen hat. 1 geogr. Meile = 7420 Meter.

[2]) Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. Oktober 1873. S. 134. 137.

[3]) Mehr als das Doppelte der Schallgeschwindigkeit, etwa das 19fache der gröſsten Eilzugsgeschwindigkeit.

[4]) Die beiden ersten in der Tabelle angeführten Werte sind aus den von Julius Schmidt zusammengestellten Zeitangaben (vgl. dessen Zusatz zu Nöggeraths Monographie über das rheinische Erdbeben vom 29. Juli 1846,

Die zweite der beiden Tabellen lehrt uns, daſs die Tiefe, aus welcher die Stöſse kommen, im Vergleich zu dem Verbreitungsgebiet des Erdbebens als verschwindend klein zu betrachten ist. Demnach gilt, wie K. v. Seebach[1]) gezeigt hat, die Regel, daſs die Intensität des Stoſses einfach der Gröſse des Verbreitungsgebietes entspricht. Unter dieser Voraussetzung erhält man für die fünf oben erwähnten Erdbeben folgende Intensitäten:

1. Mitteldeutsches Erdbeben von 1872 . . .	3305,2[2])	oder	5[3])
2. Erdbeben von Sillein von 1858	1612,5	„	2,6
3. Rheinisches Erdbeben von 1846	1577,3	„	2,5
4. Neapolitanisches Erdbeben von 1857 . .	1252,6	„	2
5. Erdbeben von Herzogenrath von 1873 .	625,0	„	1

K. v. Seebach giebt in seinem Werke über das mitteldeutsche Erdbeben von 1872 (S. 127) der Hoffnung Ausdruck, daſs seine Methode nach und nach mit den an Genauigkeit zunehmenden öffentlichen Zeitbestimmungen sich immer mehr als die beste und einfachste ausweisen werde. In der That fehlt es bei Erdbeben leider stets an zuverlässigen Zeitbestimmungen. Im Interesse der Wissenschaft handelt darum jeder, der den Zeitpunkt, in welchem ein Erdbeben eintritt, genau notiert, ihn auf die Bahnzeit eines Nachbarortes zurückführt und einer zur Erfoschung des Erdbebens berufenen Person hiervon baldigst Mitteilung macht.

Um richtige Zeitbestimmungen zu erlangen, hat A. v. Lasaulx[4]) ein einfaches, selbstthätiges Instrument konstruiert, das an jeder im Gebrauche befindlichen Pendeluhr, also z. B. an den Regulatoren der Telegraphenstationen angebracht werden kann und im Momente der Erschütterung sofort den Stillstand der Uhr bewirkt. Dieses Instrument, seines wesentlichen Zweckes wegen als Seismochronograph bezeichnet, hat folgende Einrichtung (s. Fig. 41 a).

Eine kleine Büchse *A* umschlieſst eine Feder, welche in Verbindung mit einem dünnen Stahlstabe einen Hebelarm *C*, der am unteren Ende eines Holzbrettchens in drehbarer Achse befestigt ist, dadurch herabdrückt, daſs sie diesen Stahlstab, der an seinem oberen Ende in einem kleinen messingenen Tellerchen *B* endigt, aufwärts schiebt.

sowie seine „Untersuchungen über das Erdbeben am 15. Jänner 1858“ in den Mitteilungen der K. K. geographischen Gesellschaft. Bd. II (1858), S. 131 ff. der Abhandlungen) von K. v. Seebach nach seiner Methode abgeleitet.

[1]) l. c. S. 175 ff.

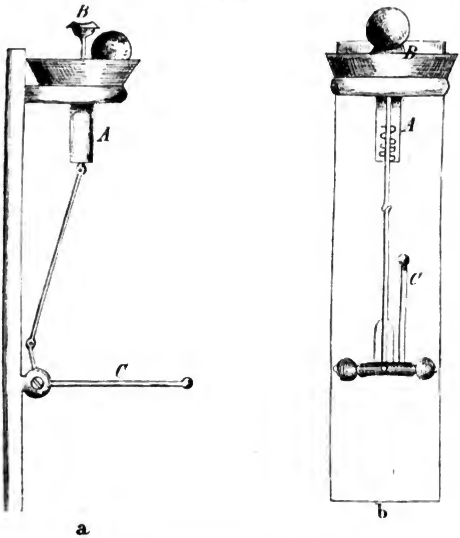
[2]) Radius des Verbreitungsgebietes (in geogr. Meilen) mit sich selbst multipliziert.

[3]) Intensität, wenn die des Erdbebens von Herzogenrath = 1 gesetzt wird.

[4]) Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. Oktober 1873. S. 150 ff.

Wird das letztere durch eine Messingkugel (s. Fig. 41 b) belastet, so erleidet die Feder eine Zusammenpressung, und der Hebelarm C′ legt sich rückwärts wider das Holzbrettchen, an welches die ganze Vorrichtung angeschraubt wird. Sowie eine Erschütterung eintritt, fällt die Kugel auf den runden Holzteller herab, welcher den Messingteller umgiebt; die Feder schnellt in die Höhe; der Hebelarm stürzt herunter vor das Pendel und arretiert die Uhr dadurch sofort. In jenen Holzteller sind acht Fächer eingeschnitten, in deren eines die herabfallende

Fig. 41.



Seismochronograph (nach A. v. Lasaulx).

Kugel gelangen mufs, und so wird die Richtung markiert, in der sie abgeworfen wurde. Man erhält also genau die Zeit des Eintrittes der Erschütterung und annähernd auch die Richtung des Stofses.

Dieses Instrument bietet mannigfache Vorteile: es kostet wenig, erfordert keinerlei Beaufsichtigung und ist an jeder Pendeluhr mit Leichtigkeit anzubringen. Der allgemeine Gebrauch dieses Apparates würde bei zukünftigen Erdbeben ein weit besseres Material liefern als dasjenige, was K. v. Seebach und A. v. Lasaulx bei ihren Arbeiten zu Gebote stand.

Zu ganz korrekten Resultaten wird freilich die Seebachsche

Methode ebenso wenig wie irgend eine andere führen, weil, wie oben bereits angedeutet worden ist, die Erdbebenentwicklung immer von lokalen geognostischen Verhältnissen abhängig ist. Petrographische Beschaffenheit wie geologischer Bau des Terrains kommen bei der Fortpflanzung der Erschütterungen gleich sehr in Betracht. Der Stofs verbreitet sich weit leichter in einer homogenen und dichten, mehr oder weniger elastischen Masse als in einer vielfach von Zwischenräumen und Spalten unterbrochenen. Letztere sind sogar im Stande, durch Abschwächung oder Aufhebung der Schwingungen die zerstörenden Wirkungen der Erdbeben örtlich zu beschränken oder wohl gar ganz zu beseitigen. So wufsten schon die alten griechischen und römischen Schriftsteller, was heute noch in Südeuropa und im Orient als Erfahrungsthatsache gilt, dafs natürliche und künstliche Höhlungen, Steinbrüche, tiefe Brunnen u. s. w. im Falle eines Erdbebens die über ihnen stehenden Gebäude vor der Erschütterung bewahren oder wenigstens die schlimmen Wirkungen des Erdbebens nahezu aufheben. In Neapel befindet sich die vor den Erdstöfsen gesicherte Bildsäule des heiligen Januarius über einem tiefen Brunnen. Interessant ist in dieser Beziehung auch A. v. Humboldts Bemerkung, dafs in Südamerika bisweilen auf Gebieten, welche die Erdbebenwelle durchschreitet, einzelne Stellen unerschüttert bleiben, von denen die Eingeborenen sagen, dafs sie eine „Brücke“ bilden [1]. Diese Stellen sind offenbar geschützt durch quer vorliegende Spalten oder wenigstens durch gestörte Schichtung und discordante Lagerung des Gesteins. Hierauf gründet sich wohl auch die in den Anden von Südamerika ganz bekannte Thatsache, dafs die Erdbeben entweder die eine oder die andere Cordillere oder eines ihrer Querjoche, niemals aber beide Gebirgsketten gleich stark erschüttern. Obwohl die Westseite von Südamerika so aufserordentlich reich ist an Erdbeben, so hat es sich doch noch niemals ereignet, dafs Städte beider Cordilleren durch dasselbe Erdbeben vernichtet wurden [2].

Auch der rasche Wechsel der Gesteinsarten beeinträchtigt die gleichmäfsige Entwicklung der Erdbebenwelle. So bewahrten bei dem Erdbeben von Herzogenrath am 22. Oktober 1873 die älteren Gebirgsschichten nordwestlich von Düren diese Stadt, woselbst, obwohl sie nur 4 geogr. Meilen von dem pleistoseisten Centrum entfernt lag und auf losen Schichten der Ebene aufgebaut ist, nur eine ganz geringe Erschütterung beobachtet wurde [3]. In dem letzteren Falle wirkte

[1] A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. I, S. 219.

[2] Moriz Wagner, Naturwissenschaftliche Reisen im tropischen Amerika. Stuttgart 1870. S. 442.

[3] A. v. Lasaulx, l. c. S. 51.

noch ein zweiter Umstand hemmend auf die Fortpflanzung der Erdbebenwelle ein: der Stofs traf die gesamten Schichten senkrecht zu ihrem Streichen. Während in ununterbrochen gleichförmigem Gestein, dessen Teile unter sich fest zusammenhängen, die Erschütterungen sich ungehindert weiter verbreiten wie die Wellen auf einer in Erschütterung versetzten Wasserfläche, wird da, wo der Erdstofs den Schichten rechtwinklig zu ihrem Streichen begegnet, also Trennungsklüfte und teilweise mit losem Material erfüllte Spalten nach einander durchschneidet, die Kraft desselben verhältnismäfsig bald erlahmen.

Eine weitere Unregelmäfsigkeit in der Erdbebenentwicklung besteht darin, dafs sich der Erschütterungsherd im Verlaufe des Bebens zuweilen eine gröfsere Strecke vorwärts bewegt. Dies scheint z. B. bei dem Agramer Erdbeben vom 9. November 1880 der Fall gewesen zu sein. Wenigstens läfst die Thatsache, dafs damals bei Agram die Friedhofsdenkmäler von Nord nach West, in dem $3^1/_3$ geogr. Meilen nordöstlich gelegenen St. Ivan jedoch von Nord nach Ost verdreht wurden, kaum eine andere Deutung zu, als dafs der Ursprungsort nach Nord, also in einer zur Gebirgsrichtung rechtwinkligen Spalte wanderte. Dem entsprechend offenbarte sich in dem Beben in der That eine wirbelnde Bewegung.

Häufig werden die Erdstöfse in Bergwerken gar nicht wahrgenommen, gelegentlich aber auch so stark empfunden, dafs die Arbeiter erschreckt aus der Grube fahren. Im Jahre 1812 bemerkten die Bergleute in den Gruben bei Marienberg in Sachsen eine starke Erderschütterung, von welcher an der Oberfläche nichts verspürt wurde [1]). Indes gehört ein solches Vorkommnis zu den Seltenheiten und dürfte wohl in besonderen lokalen Umständen seinen Grund haben.

Häufiger hingegen wird uns das erstere berichtet. So haben nach Berzelius am 24. November 1823 die in den Gruben bei Persberg, Bisperg und Fahlun in der Tiefe arbeitenden Bergleute keinerlei Anzeichen eines daselbst eingetretenen Erdbebens beobachtet. Ebenso wurden die in den Steinkohlengruben zwischen Mühlheim und Unna beschäftigten Bergleute nichts von den Erdstöfsen gewahr, welche am 23. Februar 1828 im Gebiete der Rheinlande stattfanden [2]). A. v. Lasaulx [3]) berichtet ähnliches von dem Erdbeben von Herzogenrath am 22. Oktober 1873. Nirgendwo wurde dasselbe in den Gruben des Ruhrbeckens oder den Erzgruben des Siebengebirges und der unteren Sieg wahrgenommen, obwohl hier das Erdbeben an der Oberfläche

[1]) C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 219 f.

[2]) Poggendorffs Annalen. Bd. XII (1828), S. 332.

[3]) l. c. S. 55.

überall deutlich bemerkt wurde. Bei dem Erdbeben von Agram am 9. November 1880 schienen die tieferen Schichten gleichfalls völlig unberührt geblieben zu sein; wenigstens haben die in tieferen Schächten arbeitenden Mannschaften nichts von den Erschütterungen verspürt. Für diese Verhältnisse passen C. F. Naumanns Worte[1]: „Wenn die oberflächlichen Massen den felsigen Grundfesten des Landes nur wie eine Schale aufgelegt oder angelehnt sind, wenn sie mit den tieferen Massen kein fest verbundenes und stetiges Ganze bilden, dann wird der lose Zusammenhang leicht aufgehoben und für sie eine Wirkung hervorgebracht werden können, welche für die tieferen Massen gar nicht möglich ist.“ Dieser Vorgang vollzieht sich um so leichter, als an der Oberfläche das Hindernis der auflastenden Schwere wegfällt, wodurch ja die Welle in ihrer Entwicklung gehemmt wird.

Hiermit im Einklang steht auch die Thatsache, über welche A. v. Lasaulx[2]) in seinem Werke berichtet, dafs nämlich von den das Rheinthal oberhalb Bonn einfassenden Plateaux auch nicht eine einzige Meldung über das Herzogenrather Erdbeben einging und zwar trotz der vorgenommenen amtlichen Erhebung, während sich im Rheinthale selbst die Erschütterung bis nach Neuwied hinauf, den Siegflufs aufwärts bis Siegen, das Ruhrthal bis Menden, das Lahnthal bis Giefsen aufwärts erstreckte. Wie die Welle, von hartem Fels eingeschlossen, diesen nicht in Vibration zu setzen vermag, so prallt auch die Erschütterung der Alluvialmassen machtlos an dem härteren Fels der Thalgehänge ab. Hieraus erklärt sich zugleich, dafs die äufsersten Grenzen des erschütterten Gebietes weit von der Kreisform abweichen.

Da sich das Wasser noch viel leichter als lockeres Gestein aus seiner Ruhelage bringen läfst, so geben Erdbeben an den Ufern der Oceane, wo sie zu Seebeben werden, zu den auffallendsten Wirkungen Veranlassung. Es erfolgt ein plötzlicher Rückzug des Meeres und kurz darauf eine gewaltige Überflutung des Landes. Der Rückzug erfordert gewöhnlich eine Zeit von 5 bis 35 Minuten; nur in wenigen Fällen beansprucht er mehrere Stunden, bei dem Erdbeben von Pisco in Peru (im Jahre 1690) z. B. drei Stunden, bei dem von Santa in Peru (am 18. Juni 1678) sogar 24 Stunden. Um so mächtiger stürmte in den beiden letzten Fällen der Wasserberg bei seiner Wiederkehr landeinwärts. Bei dem Erdbeben von Iquique (in Peru) am 9. Mai 1877 fand das erste Aufwallen des Meeres $^1/_2$ Stunde nach dem Erdbeben statt; in den nächsten 4 Stunden folgten in nicht genau bestimmbaren Pausen noch 3 bis 5 mächtige Wogen, von denen die letzte nach einem erneuten heftigen Erdstofse die bedeutendste war.

[1]) l. c. Bd. I, S. 219.
[2]) l. c. S. 52.

Sie hatte über 5 Meter Höhe. Diese Flutwelle durchlief den ganzen Stillen Ocean und erreichte, natürlich wesentlich geschwächt, nach 14 Stunden die Sandwich-Inseln, nach 18 Stunden die Ostküste Australiens und nach 23 bis 25 Stunden Japan. In diesem Falle lag das Centrum des Stofses sicher nicht auf dem Lande, sondern gegen 12½ geogr. Meilen südwestwärts von Iquique im Stillen Ocean [1]).

Überraschend grofsartig sind die Wirkungen der Seebeben an der Küste. Bei demjenigen von Lissabon im Jahre 1755 wurden diesseits des Atlantischen Oceans die Küsten von Spanien, England und Norwegen, jenseits desselben die westindischen Inseln Antigua, Barbadoes und Martinique überschwemmt. In der Nähe von Cadiz rollte das Meer in Gestalt ungeheurer Wogen von 20 Meter Höhe aufs Land. In Lissabon verloren 60000 Menschen durch den Wellenschlag das Leben. Zuerst wich das Meer zurück und legte die Barre trocken; dann ergofs es sich, 26 Meter über seinen gewöhnlichen Stand erhoben, in die unglückliche Stadt. Bei Kinsale in Irland tobte es mit verheerender Gewalt in den Hafen hinein. An der Küste von Tanger in Marokko stieg und fiel dasselbe achtzehnmal hinter einander. In Funchal auf Madeira schwoll die See bis 5 Meter über die Hochwassermarke an, obwohl dort gerade Halbebbe war. Die gröfsten derartigen Wogen, welche bisher beobachtet wurden, bildeten sich während des Erdbebens von Lima im Jahre 1586; damals erreichte das Meer im Hafen von Callao sogar eine Höhe von 27 Metern über seinem normalen Spiegel. Auf offener See machen sich übrigens diese mächtigen Wasserwellen viel weniger bemerkbar; bisweilen verharrt die See hierbei scheinbar in vollkommenster Ruhe [2]).

Die Verteilung der Erdbeben über die Oberfläche unseres Planeten läfst uns manches ahnen über die ersten Ursachen ihres Auftretens; denn gewisse Gebiete werden beständig, manche selten, manche gar nicht von Erdbeben heimgesucht. Überall, wo thätige Vulkane liegen, sind die Erdbeben zahlreich; auch ist es nicht anders zu erwarten. Schon vor dem Ausbruch werden sich leicht Klüfte bilden; denn die Entwicklung von Wärme, die dem Lavaergufs vorausgeht, dehnt unbedingt die unterirdischen Schichten aus, die einen mehr, die anderen weniger, so dafs Schichten von Schichten gehoben werden können. Ferner sind die Lava-, Schlacken- und Aschenmäntel (Krater) der Vulkane von ausgefüllten Spalten (Gängen) strahlenförmig durch-

[1]) Eugen Geinitz, Das Erdbeben von Iquique am 9. Mai 1877 in den Verhandlungen der K. Leop.-Karol. deutschen Akademie der Naturforscher. Bd. XL (1878), S. 383—444.

[2]) Ausführliches über Seebeben findet sich bei Carl v. Sonklar, Von den Überschwemmungen. Wien 1883. S. 5—13.

setzt. Meist geschah die Öffnung einer solchen Spalte durch die Gewalt überhitzter Wasserdämpfe und hatte eine Erschütterung zur Folge. Die Beispiele, dafs sich Lavaergüsse ohne jedes Erzittern des Bodens vollziehen, wie auf den Sandwichinseln (am Mauna Loa, vgl. S. 233), sind dagegen aufserordentlich selten. Nach den Eruptionen schwindet infolge der Abkühlung die Wärme; es stürzen deshalb die von ihr vorher aus einander getriebenen Felsmassen in sich zusammen; ebenso werden die durch Lavaausflufs entstandenen Hohlräume durch Senkung der über ihnen sich wölbenden Schichten ausgefüllt. Wo es also Vulkane giebt, müssen auch Erdbeben häufig sein; es wäre wunderlich, wenn es anders wäre. Daher tragen wir auch Bedenken, die Vulkane mit A. v. Humboldt als Sicherheitsventile der Erde zu bezeichnen, da deren Thätigkeit keineswegs einen Schutz gegen Erdbebenverheerungen gewährt, im Gegenteil dieselben häufig veranlafst. Peru besitzt zahlreiche Vulkane, und doch ist es gar oft der Schauplatz fürchterlicher Erdbeben. Die heftigsten ereignen sich bei Arequipa, Lima und Truxillo, obgleich sich bei Arequipa der Vulkan gleichen Namens erhebt. Ebenso wird Japan trotz seiner vielen „Sicherheitsventile" fast in jedem Monat von Erschütterungen heimgesucht. Im September 1857 fand ein Ausbruch des Ätna und am 12. Dezember desselben Jahres eine starke Eruption des Vesuvs statt; gleichzeitig war der Stromboli lebhaft thätig, und dennoch erfolgte am 16. Dezember das gewaltige Erdbeben in Calabrien. Ähnliche Verhältnisse zwischen vulkanischen Eruptionen und Erderschütterungen hat man auch anderwärts beobachtet [1]).

Da die Vulkane entweder im Meere selbst auf Inseln oder hart am Meere, sehr selten binnenwärts liegen, so folgt schon aus diesem Umstande, dafs Erdbeben auf Inseln und an Küstenländern häufiger sein müssen. Daher haben für uns die Erdbeben Siciliens, an der Westküste Italiens, auf den griechischen Inseln, auf Island, auf mehreren atlantischen Archipelen, längs der Westküste von Südamerika, auf den Sandwichinseln, auf Neuseeland [2]), an der Küste von Neuguinea, im Bereich der Sunda-, Banda-, Molukken- und philippinischen Inseln, in Japan [3]) und auf den anderen vulkanischen Inselkränzen Nordasiens, sowie auf Kamtschatka nichts Befremdendes.

[1]) Kluge, Über die Ursachen der in den Jahren 1850 bis 1857 stattgefundenen Erdbeben. S. 51.

[2]) Am Tarawera-See auf Neuseeland vergeht kein Monat ohne leichten Stofs. Ferd. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 43.

[3]) Knipping beobachtete vom Dezember 1872 bis Dezember 1877 in Tokio 86 Erdbeben, also jährlich c. 17, Milne gleichfalls bei Tokio vom 19. Oktober bis 31. Dezember 1881 (also in 73 Tagen) 36 Erschütterungen.

Da der oben geschilderte Prozefs des Erkaltens und des allmählichen Zusammenstürzens der Felsmassen in der Nähe eines Vulkans bei der geringen Wärmeleitung der Felsarten und bei der tiefen Lage der glutflüssigen Lavamassen wahrscheinlich durch geologische Zeitalter hindurch fortdauert, so suchen die Erdbeben häufig auch die Stätten erloschener Vulkane heim. Daher hat England, das in früheren Erdaltern vulkanisch bewegt wurde, seine häufigen Erschütterungen. Das Gleiche gilt von der vormals vulkanischen Auvergne, von den kaspischen Niederungen in der Nähe des Kaukasus [1]), von den sibirischen Gebieten am Baikal-See, und wenn man sich für die rheinischen Erdbeben nach einer Ursache umsieht, so genügt wohl ein Blick auf eine geologische Karte, die uns dort eine Anzahl erloschener Vulkane zeigt. Anderwärts haben sich manche derselben das Erschüttern der Erde völlig abgewöhnt; denn die Insel Mauritius im Indischen Ocean, ein altvulkanisches Bauwerk, kann seit unbestimmbar langer Zeit nicht gezittert haben, sonst wäre der seltsame Felsblock auf dem Gipfel des Pierre Botte längst herabgestürzt.

Dies alles sind vulkanische Erdbeben, welche schon ein behutsamer Geognost wie Naumann zum Mifsvergnügen A. v. Humboldts von anderen Erdbeben, welche letztere er plutonische nennen wollte, gern gesondert hätte. Aber auch plutonische dürfen wir sie vorläufig noch nicht nennen, sondern blofs nichtvulkanische. In früheren Zeiten konnte freilich Fr. Hoffmann noch wagen, das Erdbeben in Syrien mit dem Ausbruch des Jorullo in Mexico in ursächlichen Zusammenhang zu setzen. Dagegen mufs es uns sehr befremden, wenn F. Dieffenbach [2]) neuerdings noch ein Gleiches behauptet von dem Ausbruch des Puracé in Columbia (1. Oktbr. 1869), den Erdbeben von Bonn (2. Oktbr.) und Manila (5. Oktbr.), sowie von den Eruptionen des Tongariro auf Neuseeland (am 22. Mai 1870) und den gleichzeitigen japanischen Erdbeben. Diese Ereignisse in Abhängigkeit von einander zu bringen, ist durchaus unstatthaft. Übrigens dürfte ein derartiger Griff jetzt, wo wir über die Flegeljahre des Vulkanismus hinaus sind, wohl nur Heiterkeit erwecken; denn da die Erde an verschiedenen Punkten täglich mehrere Male erschüttert wird und es etliche Vulkane giebt, die beständig speien, so kann man sagen: kein Erdbeben ohne Vulkanausbruch, kein Vulkanausbruch ohne Erdbeben.

Wichtig ist die Thatsache, dafs Erdbeben auch fern von allen

[1]) Am 16. Januar 1872 wurde die Stadt Schemacha total zerstört.

[2]) Plutonismus und Vulkanismus in der Periode von 1868—1872 und ihre Beziehungen zu den Erdbeben im Rheingebiet. Darmstadt 1873. S. 14. 15.

Vulkanen auftreten. Selbst die calabrischen Erdbeben möchten wir zu den unvulkanischen rechnen, ebenso die Erschütterungen Jamaicas, sowie die von Cumaná und Carácas, vor allen aber die syrischen, sowie die seltenen ägyptischen und algerischen, ferner die häufigen in Kleinasien bei Brussa und auf Chios, im Industhale (Runn of Cutch), im Innern von Persien, in Skandinavien, in der Schweiz, das Erdbeben von Lissabon, endlich insbesondere die unerklärlichen Erschütterungen der Mississippi-Ebene in den Jahren 1811 und 1812, die in der Nähe von Neu-Madrid vorher ungekannte Seen schufen. Selbst manche Erschütterungen der Andenketten mögen nicht durch vulkanische Kräfte erregt worden sein, sondern nur von Einstürzen geognostischer Stockwerke herrühren, wie schon Boussingault vermutet hat. Solche Erdbeben sind eine unmittelbare Folge der noch immer fortdauernden Gebirgsbildung und der damit zusammenhängenden Pressungen und Spannungen und entwickeln sich stets am stärksten auf gewissen Bruchlinien der Gebirge, längs deren sich gewaltige Verschiebungen und Rutschungen ereignen, die mit der Faltung der Gebirgsketten im engsten Zusammenhang stehen. Man bezeichnet diese Erdbeben sehr zutreffend als tektonische[1]). Wie viele Hunderte von Erdbeben mögen sich ereignet haben, ehe jene zahlreichen wunderbaren Biegungen, Überkippungen und Berstungen der Felslager zu stande kamen, die uns in den Schweizer Alpen, etwa im Berner Oberlande, im Reufsthale oder am Vierwaldstätter See in so grofsartiger Weise entgegentreten! Da mancher Spalt durch lange Zeiträume hindurch den Ausgleich der Pressungen und Spannungen im Gebirge übernimmt, so haften derartige Erdbeben vielfach mit merkwürdiger Zähigkeit an einer gewissen Schütterzone, auf der sie bald da, bald dort mit frischer Kraft erscheinen, um vielleicht gelegentlich wieder zu einem längst verlassenen Erregungspunkte zurückzukehren. Namentlich sind Gebirge jüngerer Erhebung wie die Anden und

[1]) Ausführliches über derartige Erdbeben veröffentlichten Ed. Suefs („Die Erdbeben Niederösterreichs") in den Denkschriften d. K. Akad. d. Wissenschaften in Wien, mathem.-naturw. Klasse. Bd. XXXIII (1874), S. 61—97, Alex. Bittner („Beiträge zur Kenntnis des Erdbebens von Belluno vom 29. Juni 1873") in den Sitzungsberichten d. mathem.-naturw. Klasse d. K. Akad. d. Wissenschaften in Wien. Bd. LXIX (1874), Abt. 2, S. 541—637, R. Hoernes („Erdbebenstudien") in dem Jahrbuch d. K. K. geologischen Reichsanstalt. Bd. XXVIII (1878), S. 387—448, H. Hoefer („Die Erdbeben Kärntens und deren Stofslinien") in den Denkschriften d. K. Akad. d. Wissenschaften in Wien, mathem.-naturw. Klasse. Bd. XLII (1880), Abt. 2, S. 1—90, die Erdbebenkommission des naturwissenschaftlichen Vereins zu Karlsruhe („Das rheinisch-schwäbische Erdbeben vom 24. Januar 1880." Karlsruhe 1881) und Albert Heim (Die schweizerischen Erdbeben vom November 1879 bis Ende 1880. Bern 1881, sowie die schw. E. im Jahre 1881. Bern 1882).

Alpen[1]) eben wegen ihrer Jugend derartigen Erschütterungen sehr ausgesetzt, während sich umgekehrt Weltteile von hohem geologischen Alter grofser Ruhe erfreuen. Das östliche Südamerika gehört zu den erdbebenfreiesten Ländern; freilich fehlen ihm auch die Vulkane und teilweise die Beobachter, welche die Stöfse den Zeitungen melden könnten. In Südafrika kann sich nach Livingstones Zeugnis wegen eigentümlicher Felsbildungen, die mit Einsturz drohen, seit undenklichen Zeiten kein stärkeres Erdbeben ereignet haben; auch Australien gehört bis jetzt zu den friedfertigsten Planetenstellen. Selbst junges Gebiet, aber dann ohne Gebirge oder nur von sehr alten Gebirgen durchzogen, ist gewöhnlich erdbebenfrei; denn von der norddeutschen Tiefebene über das europäische Rufsland und Sibirien bis zum Baikalsee, wo erloschene Vulkane auftreten, herrscht der tiefste Erdfriede.

Zusammengefafst bedeuten alle diese Thatsachen, dafs Erdbeben seltener werden 1) im Abstand von thätigen Vulkanen, 2) im Abstand von vormals thätigen Vulkanen, 3) im Abstand von dem Erderschütterer Poseidon, also im Binnenlande und nicht auf Halbinseln, Inseln oder Küstengebieten, 4) im Abstand von jung erhobenen Gebirgen, überhaupt auf gröfseren Tiefebenen (obgleich auch sie nicht gänzlich frei sind), 5) in alten Erdteilen im Gegensatz zu den jüngeren.

Auf die Entwicklung der Erdbeben wirken jedoch zweifellos auch noch andere Verhältnisse ein.

Man hat früher mit Vorliebe den Ausgangspunkt derselben, also die direkte Ursache des ersten Anstofses auf der Grenze des flüssigen Erdkernes und der festen Rinde gesucht[2]) und die Entstehung der Erdbeben von gewaltsamen Fluctuationen des Erdinnern abgeleitet oder von explosiven Dampfentwicklungen in dieser Zone. Diese Anschauungen sind schon deshalb nicht mehr zutreffend, weil der Herd der Erdbeben, was man wohl mit Sicherheit aus den neueren Beobachtungen und Berechnungen folgern darf, niemals in so grofsen Tiefen liegt, wie dies jene Annahmen fordern (vgl. S. 271). Überhaupt sind da, wo eine normale Temperaturzunahme nach der Tiefe stattfindet (vgl. S. 213), wie wir es auf nichtvulkanischem Gebiete wohl für die Mehrzahl der Fälle voraussetzen dürfen, die Erdbeben niemals der Bildung stark gespannter Dämpfe zuzuschreiben. Die ältere Annahme der Vulkanisten, dafs Wasser in das heifse Erdinnere dringe, dort in Dampf sich verwandele und dieser seine Decke emporhebe, ist seit Mallets Untersuchungen als beseitigt zu betrachten. Selbst

[1]) Vom November 1879 bis Dezember 1880, also innerhalb 14 Monaten hat Heim 69 Erschütterungen in den Schweizer Alpen nachgewiesen.

[2]) So noch C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 270.

unter der Bedingung, dafs die Wärme des Erdinnern stetig um 1° F. auf 60 engl. Fufs (= 1° C. auf 33 Meter) nach der Tiefe wächst, erhält man beispielsweise für das calabrische Erdbeben von 1857 folgende Werte:

	Tiefe des Erdbebenstofses (Meter)	Erdwärme (Grade Fahrenh.)	Spannung des Dampfes (Atmosphären)
Minimum	5102	339,4 (170,8° C.)	7,85
Mittel	10667	643,1 (339,5° C.)	148,88
Maximum	15073	883,6 (473,1° C.)	684,11

Wasserdampf, in eine Höhle eingeschlossen, hätte selbst unter der oben angenommenen höchsten Temperatur nur Kalkfelsen von 8550 engl. Fufs (2606 Meter) Mächtigkeit zu heben vermocht, während das Minimum der Tiefe des Focus doch 5102 Meter betrug. Hebungen bei Erdbeben sind daher auf diesem Wege nicht zu erklären.

Nach Pfaff[1]) werden Teile der flüssigen Centralmasse in unterirdische, jedoch der Oberfläche verhältnismäfsig nahe liegende Hohlräume hinaufgeprefst. Sind diese mit Wasser gefüllt, so entstehen durch rapide Dampfentwicklung Explosionen und somit Erschütterungen. Das Zustandekommen von Dampfexplosionen ist jedoch höchstens in einer Tiefe von $3\frac{1}{3}$ geogr. Meilen möglich. Erreicht nämlich die Temperatur in solcher Tiefe selbst den Maximalwert von 2000° C. (d. i. die Schmelzhitze des Basalts und der Laven), so ergiebt sich hieraus eine Spannkraft des Wasserdampfes von 2404 Atmosphären; dieser Druck aber entspricht demjenigen einer Wassersäule von c. $3\frac{1}{3}$ geogr. Meilen. Es mufs demnach oberhalb dieser Tiefe die Explosion des aufsteigenden Wassers vor sich gehen; denn unterhalb derselben verhindert der Druck des von oben her eindringenden Wassers die Dampfbildung. Da die bisher empirisch gefundenen Tiefen der Erdbebenherde den Maximalwert von $3\frac{1}{3}$ geogr. Meilen nur selten überschreiten, so trägt diese Theorie den thatsächlichen Verhältnissen weit besser Rechnung.

Wenn wir im stillen Zimmer sitzen, vernehmen wir manchmal heftige Detonationen, die zugleich von leichten, kaum fühlbaren Erschütterungen begleitet sind. Ihren Ursprung haben jene Detonationen in irgend einem Möbel oder in dem Parkettboden, wo das austrocknende Holz sich zusammenzieht und so die Entstehung kleiner Risse veranlafst. In ähnlicher Weise wird durch langsame Erkaltung eine Zusammenziehung der Erdrinde herbeigeführt und so ein seitlicher Druck erzeugt, welcher die Verschiebung, Faltung und Zerreifsung der Schichten zur Folge hat. Jede plötzliche Störung der Lagerungsverhältnisse, jedes plötzliche Bersten der Erdrinde aber ruft eine Er-

[1]) Allgemeine Geologie als exakte Wissenschaft. Leipzig 1873. S. 230 f.

schütterungswelle hervor und bewirkt zugleich ein Erdröhnen der nächsten Umgebung. Die Bildung von Spalten aber ist denkbar auch ohne heifsflüssiges Erdinnere und ohne jede Beteiligung vulkanischer Kräfte. Sie beschränkt sich auch nicht auf diejenigen Gebiete, wo die gebirgserhebenden Kräfte noch immer in rüstigem Schaffen begriffen sind, obwohl sie hier natürlich viel häufiger vorkommt; vielmehr kann sie an jedem Orte der Erde stattfinden. Natürlich vollziehen sich diese durch die Kontraktion der Erde hervorgebrachten Bewegungen nicht langsam und stetig, sondern sprungweise und mit wechselnder Heftigkeit, sowie in ungeregelten Intervallen.

Nicht selten mögen Erdbeben noch einer ganz anderen Ursache ihre Entstehung verdanken: der erodierenden Kraft des Wassers. Mit den Erdbeben sind nämlich häufig Senkungen verknüpft, und auf diese Erfahrung gestützt haben unsere Jungneptunisten Volger, Mohr und vor allem Gustav Bischof die Erdbeben durch Einstürze von Hohlräumen in der Erde erklärt. Dadurch erhielte der alte Aristoteles Recht, welcher schon bemerkt hatte, dafs Erdbeben in höhlenreichen Gegenden am häufigsten auftreten. Befindet sich z. B. unter einer von Spalten und Ritzen durchzogenen, mehr oder weniger wagerecht liegenden Felsdecke ein Gips- oder Steinsalzlager, so wird dieses von dem durch das Deckengestein niederwärts rieselnden Regenwasser im Laufe der Zeit immer weiter aufgelöst, und es bildet sich unter dem Deckengestein ein an Umfang mehr und mehr zunehmender Hohlraum. Hierdurch verliert dieses seine stützende Unterlage und sinkt endlich in denselben hinab. Stürzen so die geognostischen Stockwerke in die Tiefe, so mufs an der Oberfläche ein See oder Morast entstehen, die uns gleichsam eine Abbildung der Hohlräume liefern, welche vorher in der Tiefe vorhanden waren. Solche Einstürze können aber recht leicht nur die mittelbare Folge eines Erdbebens sein; denn waren Höhlungen vorher vorhanden und war das Gewölbe zum Einsturz reif, so bedurfte es nur einer geringen Erschütterung zu seiner Vernichtung. Immerhin sind jedenfalls viele Erdbeben auf den Zusammenbruch von Höhlen zurückzuführen, wenn es auch schwierig bleibt, sich die Hohlräume plötzlich ausgefüllt zu denken und nicht vielmehr, dafs das Hangende sich allmählich senkt und rutscht.

Von jeher war die Jordanspalte der Schauplatz verheerender Erdbeben. O. Fraas[1]) bringt dieselben in Beziehung zu den zahlreichen Höhlen im Gebirge Juda, Ephraim und längs des Jordanlaufes. Auch das von Höhlen und Grotten unterminierte Karstgebiet wird auffallend häufig von Erdbeben heimgesucht; dieselben sind also jedenfalls dem

[1]) Aus dem Orient. Stuttgart 1867. S. 78.

Einsturz solcher Hohlräume zuzuschreiben. Ferner dürften die Erderschütterungen des Visp-Thales (Wallis) im Juli und August 1855 hierher zu rechnen sein [1]). Dieselben währten länger als einen Monat und hatten nicht blofs die Bildung von Spalten im anstehenden Gestein, sondern auch den Einsturz von Mauern und das Herabgleiten von Felsmassen zur Folge. Man ist um so mehr berechtigt, jene Erschütterungen Erdfällen zuzuweisen, als sich in der dortigen Gegend nicht weniger als 20 gipsführende Quellen befinden, deren stärkste, die Lorenzquelle, allein dem Erdboden im Laufe eines Jahres über 200 Kubikmeter Gips entzieht.

Nach G. Bischof können Erdbeben auch die Folge eines Bergrutsches sein [2]). Wird ein zwischen anderen Schichten liegendes Thonlager durch eindringende Tageswasser erweicht, so vermag dasselbe, wenn es schräg gegen ein Thal ausgeht, die Last nicht mehr festzuhalten, die sich infolge dessen auf der geneigten, schlüpfrigen Masse abwärts in Bewegung setzt. Gemeinsame Ursache aller Bergschlipfe ist vorheriges anhaltendes Regenwetter; daher werden sie auch von Hochwassern und Trübung der Gewässer begleitet. Hieraus würde sich zugleich erklären, warum in zahlreichen Gegenden (so in den Niederungen von Ecuador, auf den Molukken, in Andalusien) die Regenzeit oder (wie in der Dauphiné) die Zeit der Schneeschmelze der heftigen Erdbeben wegen gefürchtet ist. Während des Bergrutsches selbst verbreiten die stürzenden Massen ein donnerähnliches Getöse und erschüttern den Boden bis zu gröfseren oder geringeren Entfernungen. In der Schweiz bewirken Bergschlipfe einen ansehnlichen Teil der hier aufserordentlich häufigen Erdbeben. Bergschlipfe ereignen sich hier oft, da hierzu durch die Aufrichtung der Gebirgsketten, durch die geognostische Natur ihrer Gesteinsarten und die Fülle der Niederschläge alle Vorbedingungen in reichlichem Mafse gegeben sind.

Wenn die Bildung eines Risses oder einer Kluft die erste Veranlassung der meisten Erdbeben ist, so läfst sich aus folgender Statistik ersehen, welche Nebenursachen sich hierbei wirksam zeigen. Milne hat nämlich eine Tafel von 139 schottischen und 116 englischen Erdbeben entworfen und als Durchschnitte gefunden:

	Zahl der Erdbeben
Allgemeines monatliches Mittel	= 21,2
Mittel der Monate von März bis August . . .	= 16,1
Mittel der Monate von September bis Februar .	= 26,3.

[1]) O. Volger, Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz. Gotha 1857/1858. S. 387—401.

[2]) Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl. Bonn 1866. Bd. III, S. 472—603.

Volger hat 1230 Erdbeben, welche in der Schweiz und ihren Nachbarländern aufgezeichnet worden waren, nach den Jahreszeiten geordnet, in denen sie eintraten (Winter = Dezember, Januar, Februar etc.). Dabei ergab sich ein entschiedenes Vorwalten derselben im Winter; denn es ereigneten sich

im Winter 461, im Sommer 141,
im Frühling 315, im Herbst 313 [1]).

Nach Lancaster wurden von 1638 bis 1870 in Neu-England an 272 Tagen Erdbeben beobachtet und zwar alljährlich im Durchschnitt

0,2	Erdbeben im 17.	Jahrhundert
1,2	„ „ 18.	„
2,0 [2])	„ „ 19.	„

Von der Gesamtzahl der Erdbeben kommen 178 auf die Wintermonate (Oktober bis März), dagegen nur 86 auf die Sommermonate (April bis September); bei 8 konnte Monat und Tag nicht ermittelt werden. Die Maxima der Frequenz, zu denen sich die Minima wie 1:3,6 verhalten, fallen in die Monate Februar und November, die Minima in die Monate April und September [3]).

Zu ähnlichen Resultaten gelangt Kluge [4]). Aus den von ihm entworfenen statistischen Tabellen geht hervor, dafs vom 1. Januar 1850 bis 31. Dezember 1857 1810 Erderschütterungen auf der nördlichen Halbkugel, 637 auf der südlichen Halbkugel, zusammen also 2447 Erdbeben verspürt wurden [5]). Von diesen erfolgten:

	Erdbeben auf der nördl. Halbkugel		Erdbeben auf der südl. Halbkugel	
im Frühling	411	862	154	300
im Sommer	451		146	
im Herbst	490	948	158	337
im Winter	458		179	

[1]) Petermanns Mitteilungen 1856, S. 87.

[2]) Diese Differenzen müssen auf die ungenügenden Aufzeichnungen in den vorigen Jahrhunderten zurückgeführt werden.

[3]) Ausland 1874, S. 219.

[4]) Über die Ursachen der in den Jahren 1850 bis 1857 stattgefundenen Erdbeben. S. 74.

[5]) Die gröfsere Frequenz der Erdbeben auf der nördlichen Halbkugel ist keine wirkliche, sondern erklärt sich aus der schärferen Kontrolle derselben in den Kulturländern der Alten Welt, sowie aus der gröfseren Landbedeckung. Es gehören vielmehr einzelne Gegenden Südamerikas zu den erdbebenreichsten Gebieten. So wurden in Arequiba (Peru) von 1811 bis 1845 826, also durchschnittlich im Monat 2 beobachtet. J. J. v. Tschudi, Reisen durch Südamerika. Leipzig 1869. Bd. V, S. 358.

Die umfassendsten statistischen Tabellen dieser Art verdanken wir dem unermüdlichen Fleiſse Alexis Perreys in Dijon[1]). Er hat 182 vom 16. bis 19. Jahrhundert im Bassin des Rhônethales, 529 vom 9. Jahrhundert bis zum Jahre 1844 im Rhein- und Maasbassin, 270 vom 5. Jahrhundert bis 1844 im Donaubassin, 1020 vom 4. bis 19. Jahrhundert in Italien und Savoyen und 656 vom 4. Jahrhundert bis zum Jahre 1843 in Frankreich, Belgien und Holland beobachtete Erdbeben zusammengestelit, wobei sich folgende Verteilung derselben auf die Jahreszeiten ergab:

	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Frühling und Sommer	Herbst und Winter
Rhônebassin	32	35	53	62	67	115
Rhein- und Maasbassin	103	101	165	160	204	325
Donaubassin	60	67	67	76	127	143
Italien und Savoyen	259	206	248	307	465	555
Frankreich, Belgien und Holland	133	137	186	200	270	386

Endlich geht aus den Aufzeichnungen J. Milnes[2]) hervor, daſs in den Jahren 1876 bis 1880 an der Bai von Tokio in Japan während des Winters (Oktober bis März) die Erdbeben im Verhältnisse von 182:123 häufiger und durchschnittlich im Verhältnis von 20:11 stärker waren als im Sommer.

Diese Zahlen lassen es nicht verkennen, daſs im Herbst und Winter, d. h. wenn sich die Erde in Sonnennähe befindet, die Erdbeben häufiger sind als im Frühling und Sommer, d. h. zur Zeit der Sonnenferne. Auch hat Perrey durch zahlreiche Combinationen gezeigt, daſs die Erdbeben öfter eintreten in den Syzygien (Neu- und Vollmondzeiten) als in den Quadraturen (erstes und letztes Mondviertel), ferner häufiger in der Erdnähe des Mondes (Perigäum) als in der Erdferne (Apogäum). Endlich lehrt die Erdbebenstatistik, daſs die Erdstöſse an jeder erschütterten Stelle zahlreicher sind, wenn der Mond den Meridian des betreffenden Ortes passiert.

Dies beweist uns deutlich, daſs Erdbeben stets an demjenigen Orte leichter zu stande kommen, wo Sonne und Mond die Hebung einer Flutwelle bewirken würden, wenn nicht festes Land, sondern ein schrankenloser Ocean dort vorhanden wäre. Diese unleugbare Thatsache hat leider zu dem irrigen Schlusse geführt, daſs die Ursache der

[1]) Mémoires de l'Acad. de Dijon 1848. Comptes rendus. Tome XXXVI (1853), p. 537—540.

[2]) Philosophical Magazine. Vol. XII (1881), p. 356 sq.

Erdbeben in Springfluten des glutflüssigen Erdkernes zu suchen sei[1]); ja die Schule der Vulkanisten hat sogar in dem Zusammentreffen von Erdbeben mit jenen theoretischen Flutzeiten der Erdrinde eine Bestätigung von dem heifsflüssigen Zustande des Erdinnern finden wollen. Wir stellen nun keineswegs in Abrede, dafs Sonne und Mond, welche Flut und Ebbe erzeugen, auch auf das glutflüssige Erdinnere wirken, wenn es ein solches geben sollte. Indes müssen wir uns hüten, den Effekt in solchem Falle zu überschätzen. Da unter gewöhnlichen Verhältnissen die Flut auf offenem Meere nur selten eine Höhe von $^2/_3$ Meter übersteigt, so würde die gewöhnliche Fluthöhe des Erdinnern nicht mehr als $^4/_{15}$ Meter betragen, wenn wir der auf dem glutflüssigen Erdkern schwimmenden Lavamasse ein specifisches Gewicht von $2^1/_2$ zuerkennen. Doch würde die Wirkung solcher Oscillationen noch dadurch wesentlich verringert werden, dafs die starre Erdrinde bereits eine aufserordentliche Mächtigkeit besitzt und somit dem Druck des feuerflüssigen Erdinnern erfolgreichen Widerstand zu leisten vermöchte. Besser erscheint es uns, mit einem so hypothetischen Faktor, wie es das feuerflüssige Erdinnere ist, überhaupt nicht zu rechnen. In der That bedürfen wir desselben gar nicht, um die mit der Stellung des Mondes und der Sonne wechselnde Frequenz der Erdbeben zu erklären; denn jene Kraftäufserungen der beiden genannten Himmelskörper erstrecken sich auch auf die feste Erdrinde. Da diese durchweg aus Massen besteht, denen ein wenn auch geringer Grad elastischer Verschiebbarkeit zukommt, so wird sie zweifellos den fluterregenden Einflüssen von Sonne und Mond in einem gewissen Mafse nachgeben, wie dies Sir W. Thomson schon im Jahre 1863 dargelegt hat. Kann sich hier, den natürlichen Verhältnissen entsprechend, kein eigentlicher Wellenberg erheben, so ist doch die Tendenz, einen solchen zu bilden, stets vorhanden. Wir müssen uns die Erdschichten in der Umgebung eines Ortes, dem ein Erdbeben droht, in einem Zustande der Spannung denken, der jedoch die Kohäsion noch nahezu gewachsen ist. Irgend eine Dislokation in der Erdrinde ist bevorstehend. Tritt daher bei einem Gleichgewicht von Kraft und Widerstand noch ein flutbildendes Bestreben hinzu, so wird das Erdbeben reif. Ein bekanntes arabisches Wort lautet: Man kann ein Kamel schwer beladen; aber die Belastung erreicht schliefslich eine Grenze. Fügt man dann noch eine Feder hinzu, so bricht es zusammen. Jene Zugkraft der Sonne und des Mondes ist der Feder zu vergleichen, welche dem Kamel den Nacken bricht; sie beschleunigt den Vorgang, erzeugt ihn aber nicht in erster Linie.

[1]) R. Falb, Grundzüge zu einer Theorie der Erdbeben und Vulkanausbrüche. Graz 1871.

Die zerstörenden Wirkungen, welche die Erdbeben an der Erdoberfläche hervorrufen, sind bisweilen äufserst geringfügig und kaum bemerkbar; bisweilen aber sind sie so fürchterlich, dafs ihnen die Macht des Menschen rat- und hilflos gegenübersteht. Die Erdbeben von Lissabon im Jahre 1755 und von Calabrien im Jahre 1783 waren die verheerendsten, von denen Europa je heimgesucht wurde. Das erstere, welches sich am 1. November vormittags 9 Uhr 35 Minuten ereignete, erschütterte, ohne ein anderes Warnungszeichen als ein donnerähnliches unterirdisches Getöse vorausgesandt zu haben, in kurzen und raschen Vibrationen die Fundamente von Lissabon, so dafs viele Gebäude, und zwar Kirchen, Klöster und öffentliche Gebäude ebensowohl wie Wohnhäuser, plötzlich dem Boden gleich gemacht waren; Tausende von Menschen wurden unter den Trümmern derselben begraben. Und das alles geschah in einem Zeitraume von 6 Minuten. Von ebenso entsetzlichen Wirkungen begleitet waren die Erdstöfse in Calabrien im Jahre 1783. Der erste Stofs, am 5. Februar, warf in Zeit von 2 Minuten den gröfsten Teil der Häuser in allen Städten und Dörfern von den Westabhängen des Apennin in Calabria ultra bis Messina in Sicilien nieder (offenbar hat die Calabrien durchziehende Granitkette auf die Fortpflanzung der Bewegung einen hemmenden Einflufs ausgeübt), und ein anderer Stofs, der am 25. März desselben Jahres erfolgte, war fast ebenso heftig. Am härtesten wurde damals die Gegend von Oppido (nördlich vom Mt. Alto) betroffen.

Noch schlimmere Verwüstungen haben einzelne asiatische Erdbeben angerichtet. Bei dem syrischen Erdbeben im Jahre 1759 wurden durch den ersten Stofs (die Erschütterungen hielten 6 Monate an) Antakie (Antiochien), Baalbek, Akka, Tarabulus in Ruinen verwandelt und 30 000 Menschen erschlagen. Am 13. August 1822 wurden in einer einzigen schrecklichen Nacht innerhalb 10 oder 12 Sekunden Haleb, Antakie, Biha, Gesser, ja jedes Dorf und jedes einzelne Haus im Paschalik von Haleb zerstört; weit und breit fand man nichts als Schutthaufen. 20 000 Menschen hatten ihr Leben eingebüfst, und eine noch gröfsere Anzahl war verstümmelt worden. Nirgends aber sind die Erderschütterungen so verhängnisvoll gewesen wie in Japan. Am 30. Dezember 1703 verheerte ein Erdbeben Tokio und viele umliegende Orte. Tausende von Menschen wurden unter den Trümmern begraben, und wer am Meere seine Zuflucht gesucht hatte, den verschlang die heranbrausende Flut. Damals wurde gegen 200 000 Menschen (37 000 allein in Tokio) ein jähes Ende bereitet. Am 18. Dezember 1828 verloren 30 000 Personen und 6000 gröfsere Haustiere durch ein gewaltiges Erdbeben ihr Leben. Im November des Jahres 1855 wurden c. 80 Stöfse wahrgenommen, von denen sich die heftigsten

am 10. November nachts ereigneten. In Tokio allein stürzten 14 241 Häuser und 1649 Magazine ein. Gleichzeitig brach an 30 verschiedenen Stellen Feuer aus, und so wurde die Nacht zum Tag. Diesem Erdbeben fielen gegen 104 000 Menschen zum Opfer.

Endlich steht auch Südamerika in Bezug auf die verheerenden Kräfte der Erdbeben keinem anderen Länderraume der Erde nach. So ward Caracas im Jahre 1812 innerhalb 30 Sekunden völlig vernichtet, und am 16. August 1868 kamen in Ecuador durch ein Erdbeben innerhalb 15 Minuten 40 000 Menschen um. Zieht man die geringe Volksdichtigkeit der südamerikanischen Staaten hierbei in Erwägung, so möchte man geneigt sein, die Kraft der letztgenannten Erschütterungen noch höher zu schätzen als diejenige, welche sich bei den japanischen Erdbeben offenbarte.

Da durch Erderschütterungen die Schichten häufig zerbrochen und von großen Spalten zerrissen werden, so ist es sehr natürlich, daß auch Niveauveränderungen, insbesondere Senkungen des Bodens nicht selten mit dem Eintritte der Erdbeben verknüpft sind. Darum benützte die ältere Schule der Vulkanisten die Erdbeben, um alle Ungleichheiten der Erdoberfläche zu erklären. Galt es in Gebirgen ein Thal zu öffnen, so wurde ein Erdbeben herbeigerufen; sollte die Hebung eines Landes ergründet werden, so mußten die Erdbeben helfen. Dies ist jedenfalls ein Mißbrauch der erderschütternden Kräfte. Doch ist es keine Frage, daß die Erdbeben häufig Senkungen zur Folge haben, wofür sich Hunderte von Beispielen anführen ließen. Es verläuft ja fast niemals ein größeres Erdbeben, ohne daß wir lesen, es habe sich an irgend einer Stelle eine vorher nicht gekannte Vertiefung mit Wasser gefüllt. Beim Lissaboner Erdbeben versank der Quai samt allen Schiffen, die an ihm festlagen, ins Meer. Tausende von Menschen hatten sich hierher geflüchtet, um Schutz zu suchen vor den stürzenden Gebäuden; sie alle wurden von dem sich plötzlich öffnenden Grab verschlungen, und niemals ist ein Leichnam wieder an die Oberfläche gekommen. Bald darauf fand man an der nämlichen Stelle erst bei hundert Faden (183 Meter) Tiefe Grund. Bei dem calabrischen Erdbeben vom Jahre 1783, welches aus 949 Stößen bestand, denen 1784 noch 151 nachfolgten, bildeten sich nicht weniger als 215 Seen und Moräste. Am 16. Juni 1819 versank während des Erdbebens von Cutch Fort und Dorf Sindree am östlichen Mündungsarme des Indus; hierbei wurde ein Areal von 2000 engl. Quadratmeilen (= 94 deutsche Quadratmeilen) in einen See verwandelt. Nur ein Turm des Forts blieb den Boten zugänglich[1]). So wird uns auch

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p. 99 sq.

von verschiedenen Erdbeben in Syrien und China berichtet, dafs sich unmittelbar nach ihrem Eintritt mit Seen und Morästen erfüllte Vertiefungen zeigten. Als die Mississippi-Niederungen in den Jahren 1811 und 1812 erschüttert wurden, traten an vielen Stellen Senkungen ein, von denen sich einzelne über ein weites Terrain erstreckten, wodurch Seen von 5 geogr. Meilen Durchmesser geschaffen wurden. Ein Teil jener Gegenden, in den Staaten Missouri und Arkansas gelegen, hiefs Jahrzehnte lang „the sunk country" [1]). Während des Erdbebens, welches am 20. Januar 1834 Santiago in Chile zerstörte, stürzte ein mit Wald bedeckter Landstrich von $1^1/_2$ geogr. Meile Länge und einer Meile Breite samt dem Walde in die Tiefe hinab [2]). Bei dem Erdbeben, welches im Jahre 1868 Arica verheerte, ist die Stadt Cotacachi verschwunden; an ihrer Stelle breitet sich jetzt ein See aus.

Sind Einstürze und Senkungen von Land die gewöhnlichen Begleiter der Erdbeben, so sind dagegen gut beobachtete Aufrichtungen sehr selten. Früher hat man alle Hebungen den Erdbeben zugeschrieben; wäre dem wirklich so, so dürften wir erwarten, dafs das aufsteigende Skandinavien öfter von Erderschütterungen beunruhigt würde, als dies der Fall ist. Wenn noch bei Sir Charles Lyell [3]) zu lesen ist, dafs während des Erdbebens am 19. November 1822 die Küste in der Nähe von Valparaiso um 1 bis $1^1/_3$ Meter und weite Landstriche im Innern ebenfalls bedeutend gehoben worden seien, so gründet sich das auf Behauptungen einer Mrs. Graham. Es soll nun gar nicht geleugnet werden, dafs die Küste dort steige, sondern nur dafs dies notwendig ein Verdienst von Erdstöfsen gewesen sei. Es befand sich nämlich damals gerade in Valparaiso der berühmte Konchyliolog Cumming, also ein vortrefflicher Naturforscher, der wohl täglich den Stand des Meeres beobachtete, und dieser versicherte ausdrücklich, dafs er kein Wahrzeichen von einer plötzlichen Aufrichtung des Landes oder einer Änderung des Meeresspiegels wahrgenommen habe. Wahrscheinlich liegt hier eine Täuschung vor, die sich leicht erklären läfst. An der Westküste von Chile vollzieht sich in der That eine seculäre Hebung des Bodens; einer derartigen, aufserordentlich langsam erfolgenden Veränderung wendet man für gewöhnlich kein besonderes Interesse zu, wohl aber nach dem Eintritt einer Katastrophe. Hierzu kommt, dafs die durch das Erdbeben entstandene Woge, nachdem sie zurückgewichen ist, mit Macht wieder hereinbricht, Schlamm

[1]) Nach Charles Lyell in Poggendorffs Annalen. Ergänzungsband II (1848), S. 628.

[2]) C. W. C. Fuchs, Die vulkanischen Erscheinungen der Erde. Leipzig 1865. S. 458 f.

[3]) Principles of Geology. Vol. II, p. 94 sq.

und Muschelreste weit landeinwärts trägt und so eine falsche, d. i. zu hohe Strandlinie bildet, wodurch sich das Land plötzlich als ein gehobenes darstellt.

Zum Zeugnis dafür, dafs Hebungen durch Erderschütterungen herbeigeführt werden, beruft man sich gewöhnlich auf das Erdbeben bei Talcahuano an der chilenischen Küste am 20. Februar 1835, wo von Fitzroy und Charles Darwin ein Emporrücken der Küste um nahezu einen Meter erkannt worden sei. Die Äufserungen Darwins und Fitzroys schliefsen jedoch nicht alle Zweifel aus[1]). Kurz nachher wurde eine nordamerikanische Expedition unter der Leitung des Kapitän Wilkes zur Erforschung jener Küste dorthin gesandt, und dieser sagt ausdrücklich: „Die Berichte der Residenten in Chile sind so widersprechend, dafs kein sicherer Aufschlufs erlangt werden kann. Die Abnahme der Tiefe in der Bai kann auf Rechnung der Anschwemmungen gebracht werden und rührt unzweifelhaft, insoweit sie überhaupt stattgefunden hat, davon her. Mehrere unserer Naturforscher nahmen eine genaue Untersuchung der Küste in der Nachbarschaft vor, und alle kamen in dem Resultate überein, dafs kein Beweis für eine Hebung vorläge" [2]). Am auffallendsten war bei dem letztgenannten Erdbeben der Zustand der Insel S. Maria (6 geogr. Meilen südwestlich von Concepcion in Chile). Diese Insel, welche nur $1^1/_2$ geogr. Meile lang ist, wurde an ihrem südlichen Ende $2^1/_2$ Meter, in der Mitte $2^3/_4$ Meter und am Nordende sogar 3 Meter gehoben. Ganze Lagen von Patella und Chiton, die noch den Gesteinen anhingen, zeigten sich über der Flutlinie, und Felsen, die früher unter Wasser standen, ragten über dasselbe empor[3]). Indessen erscheint es uns auch in diesem Falle zweifelhaft, ob sich hier wirklich eine Hebung ereignete. Wenigstens kann man die oben angeführten Zahlen auch dahin deuten, dafs wir es hier nur mit einer im Süden abwärts, im Norden aber aufwärts gerichteten Klappenbewegung zu thun haben.

[1]) Darwin äufsert hierüber: „Es geht aus den Untersuchungen von Kapitän Fitzroy hervor, dafs sowohl die Insel Santa Maria als Concepcion, welches nur $1^1/_3$ oder $1^2/_3$ Meter emporgehoben wurde, im Verlaufe einiger Wochen sanken und einen Teil ihrer ersten Hebung verloren. Ich will nur als eine zur Vorsicht mahnende Lehre hinzufügen, dafs es rund um die sandigen Ufer der grofsen Bai von Concepcion wegen der störenden Wirkungen der grofsen begleitenden Welle äufserst schwierig war, irgend einen deutlichen Beweis dieser beträchtlichen Erhebung zu erkennen." Charles Darwin, Geologische Beobachtungen über Südamerika. Übersetzt von J. Victor Carus. Stuttgart 1878. S. 43.

[2]) Fuchs, l. c. S. 451.

[3]) Charles Darwin, l. c. S. 43.

Weit besser beglaubigt ist eine Erhebung der Küste Neuseelands bei dem Erdbeben von Wellington am 23. Januar 1855. Die dortigen Erscheinungen wurden von drei mit den lokalen Verhältnissen vertrauten Personen beobachtet, und, was von besonderem Wert ist, unter ihnen befand sich der kgl. Ingenieur Edward Roberts, der gerade in dem vom Erdstofs berührten Port Nicholson (an dem Südende der Nordinsel) vor- und nachher beschäftigt war. Er erklärt, dafs die Aufrichtungen $^1/_3$ bis $2^3/_4$ Meter betrugen und sich über einen Raum von 4600 engl. Quadratmeilen (216 deutsche Quadratmeilen) erstreckten. Doch traten auch gleichzeitig Spaltenbildungen und Senkungen ein [1]. Man möchte geneigt sein, hier ebenfalls eine Klappenbewegung anzunehmen, da sich die Hebung von Ost nach West verminderte und endlich in eine Senkung überging; denn während Muka-Muka Point (an der Nordwestseite der Palliser Bai) um $2^3/_4$ Meter gehoben wurde, verringerte sich der Effekt bei Wellington (also weiter westwärts) auf weniger als einen Meter, und an der gegenüberliegenden Seite der Cookstrafse, an der Mündung des Wairauflusses, senkte sich das Erdreich sogar.

Dafs Hebungen lokaler Art dann und wann Begleiter der Erdbeben sind, soll nicht in Abrede gestellt werden. Bestritten wird nur, dafs Hebungen ganzer Länder durch Erdbeben bewirkt werden. Und selbst wenn ein Zusammentreffen beider erwiesen werden könnte, so würde dies doch insofern für jene Behauptung wenig beweiskräftig sein, als dann die Erdbeben jedenfalls nicht Ursache, sondern Folge des Emporsteigens wären.

Führen die Erdbeben oft gewaltige Verheerungen an der Erdoberfläche herbei, so dürfen wir auch erwarten, dafs innerhalb der starren Erdrinde mächtige Spaltenbildungen, Verwerfungen, Knickungen, Verschüttungen u. s. w. im Gefolge von Erdbeben eintreten. Entzieht sich dies alles auch unseren Blicken, so besitzen wir doch unverkennbare Zeugnisse dafür. Wenn nach dem Lissaboner Erdbeben im Jahre 1755 der Karlsbader Sprudel ein paar Tage stockte und gleichzeitig die Hauptquelle zu Teplitz ausblieb, welche letztere jedoch gar bald unter heftigem Brausen und dunkelgelb gefärbt wieder hervorbrach, so haben wir uns zu denken, dafs die Kanäle jener Quellen verstopft wurden. Konnte dies aber noch in so weiter Entfernung vom Erschütterungsherd geschehen, so müssen wir die bedeutendsten und weittragendsten Wirkungen auch für tiefere Erdschichten in der Nähe des Focus und bis zu diesem hinab annehmen. Zur Begründung des Gesagten erwähnen wir noch, dafs infolge des Erdbebens von Rio-

[1]) Sir Charles Lyell, l. c. Vol. II, p. 83 sq.

bamba der Vulkan von Pasto am 4. Februar 1797 plötzlich aufhörte, Dampf auszustofsen, dafs sich ferner bei dem Erdbeben zu Visp die Temperatur der heifsen Quelle im Leuker Bad um 7,4° C. erhöhte[1]); auch flofs diese dreimal reichlicher, aber sichtbar getrübt. Ähnliche Erscheinungen beobachtete man auf einigen Inseln des mittelländischen Meeres am 12. Oktober 1856[2]). Während des Erdbebens in Lissabon soll die Temperatur der Source de la Reine in Bagnères de Luchon in den Pyrenäen plötzlich sogar um 41° C. gestiegen sein[3]). Derartige Thatsachen lassen offenbar auf die plötzliche Entstehung ansehnlicher Spalten in den Tiefen der starren Planetenhülle schliefsen.

[1]) Nach O. Volger ist diese Annahme nichts weniger als begründet. O. Volger, Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz. S. 132.

[2]) E. Kluge in Petermanns Mitteilungen 1858, S. 250.

[3]) Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl. Bonn 1866. Bd. III, S. 546.

VI. Die Kant-Laplacesche Hypothese und die Glutflüssigkeit des Erdinnern.

Nachdem wir der Gestalt und Dichtigkeit der Erde, ihrer Eigenwärme und dem Emporsteigen glutflüssiger Massen aus den Tiefen unseres Planeten eine eingehendere Untersuchung gewidmet haben, ist es uns möglich, ein Urteil über die Beschaffenheit des Erdinnern und über den uranfänglichen Zustand unseres Planeten wie des gesamten Sonnensystems zu gewinnen.

Unter den Versuchen, die Entstehung und Entwicklung des Sonnensystems zu erklären, nimmt der des grofsen Philosophen Immanuel Kant (enthalten in seiner „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels“, 1755) noch heute den ersten Rang ein. Der französische Astronom Laplace sprach im Jahre 1795 in seiner „Exposition du système du monde“, ganz unabhängig von Kant und mehr auf mathematische Grundlagen sich stützend, dieselben Anschauungen aus. Wir geben in dem folgenden die Grundzüge der Kant-Laplaceschen Hypothese wieder und prüfen zugleich, ob diese Hypothese durch die moderne Naturwissenschaft widerlegt oder bestätigt wird.

In den Bewegungen aller zum Sonnensystem gehörenden Körper waltet eine grofse Harmonie. Zunächst sind die Bahnen sämtlicher Planeten so wenig gegen einander geneigt, dafs sich von ihnen beinahe sagen läfst, sie fallen in eine einzige Ebene[1]). Und wie ihre Lage, so verrät auch ihre Gestalt den einheitlichen Ursprung; denn sie sind alle wenig excentrisch, nähern sich also der Kreisform. Nur die Planetoiden befinden sich in einer Zone relativ gröfserer Störungen, was bei der Geringfügigkeit ihrer Massen nichts Befremdendes hat. Ferner

[1]) So sind gegen die Erdbahn geneigt: die Merkurbahn 7° 0,2′, die Venusbahn 3° 23,5′, die Marsbahn 1° 51,1′, die Jupiterbahn 1° 18,7′, die Saturnbahn 2° 29,5′, die Uranusbahn 0° 46,5′, die Neptunbahn 1° 47′.

schreiten alle Planeten, gleich der Erde, auf ihrem Weg um die Sonne von West über Süd nach Ost vorwärts, und in gleichem Sinne umkreisen die Monde ihre Hauptplaneten. Diese Richtung aber stimmt mit der Drehung der Sonne selbst um ihre Achse, sowie mit der Rotation der Planeten und der Monde überein. Kant wufste freilich nur von Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn, sowie von dem Monde, den vier Jupiter- und vier Saturnsatelliten; aber auch Uranus und Neptun, sowie die zahlreichen Planetoiden und die Trabanten der Planeten, welche erst in nachkantischen Zeiten entdeckt wurden, erwiesen sich als rechtläufig. Nur die Uranusmonde sowie der Neptuntrabant machen eine merkwürdige Ausnahme von dem allgemeinen Gesetz; denn sie sind rückläufig. Somit dürfte sich auch die Rotation des Uranus und Neptun in umgekehrter Richtung wie die der Erde vollziehen, was man allein dadurch mit den Bewegungen der übrigen Planeten in Einklang bringen kann, dafs man sagt, ihre Drehungsachse habe sich mehr als 90° (nämlich 101, resp. 145°) von ihrer ursprünglichen Stellung entfernt. Da weder Uranus noch Neptun und noch viel weniger ihre Trabanten entdeckt waren, als Kant jene geistreiche Hypothese über die Entwicklung des Sonnensystems schuf, so vermochten jene widerspenstigen Monde die Gedankengänge des grofsen Philosophen nicht zu durchkreuzen.

Die Harmonie in den Bewegungen der Planeten konnte für Kant nichts Zufälliges sein; sie lenkte ihn hin auf die Idee, dafs das ganze Sonnensystem einen gemeinsamen Ursprung habe. Nach Kant bestand dasselbe im Anfang aus einer weit über die Saturnbahn hinausreichenden sphäroidischen Dunstmasse[1]), welche hoch erhitzt war und alle diesem System angehörenden Stoffe nicht blofs in Gasform, sondern auch im Zustande der Dissociation enthielt. Dieses Dunstsphäroid verharrte nicht in absoluter Ruhe, sondern zeigte aufser seiner Fortbewegung im Raum, wie sie noch jetzt dem Sonnensystem eigen ist, auch eine Rotation von West über Süd nach Ost um die kleine Achse des Sphäroids auf der mittleren Bahnebene der späterhin sich bildenden Planeten. Der genannte Körper rollte also wie eine Kugel im Raume fort.

Die einzelnen Teile wirkten anziehend aufeinander, und aus der Summe dieser anziehenden Kräfte ging das Bestreben aller Teile her-

[1]) Kants Worte (aus der Gesamtausgabe der Werke Kants von Rosenkranz und Schubert, Bd. VI, S. 95) lauten: „Ich nehme an, dafs alle Materien, daraus die Kugeln, die zu unserer Sonnenwelt gehören, alle Planeten und Kometen bestehen, im Anfange aller Dinge in ihren elementarischen Grundstoff aufgelöst, den ganzen Raum des Weltgebäudes erfüllt haben, darin jetzt diese gebildeten Körper herumlaufen."

vor, nach dem Mittelpunkte zu gravitieren. Hierdurch sowohl wie infolge fortdauernder Wärmeausstrahlung und Abkühlung an der Oberfläche wurde eine Verdichtung der Nebelmasse herbeigeführt, wodurch nach den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie wieder Wärme erzeugt wurde, und so entstand ein relativ dichter Kern, welcher von einer weniger dichten Nebelhülle wie von einer Atmosphäre umschlossen wurde. Auch dieses Stadium der Entwicklung beobachten wir an gewissen Gebilden des Himmels, die man als Nebelsterne bezeichnet.

Die Zusammenziehung des Dunstsphäroids schritt weiter fort. Da nun die Centrifugalkraft (auch Schwung- oder Tangentialkraft genannt) für diejenigen Punkte eines rotierenden Körpers am gröfsten ist, welche am weitesten von der Drehungsachse desselben entfernt liegen, so kamen entferntere Teile, welche sich der Achse näherten, mit einer Geschwindigkeit an, die gröfser war als die der neuen Lage entsprechende. Mit der Verdichtung des Gasballs wuchs daher auch die Geschwindigkeit der Rotation, wodurch zugleich die Centrifugalkraft vergröfsert wurde. Nun ist die Gravitation im Centrum, die Schwungkraft hingegen an den äquatorialen Teilen einer rotierenden Masse am gröfsten. Durch fortgesetzten Rückzug des Dunstsphäroids nach dem Centrum und durch die unmittelbar hieraus folgende Beschleunigung der Rotationsgeschwindigkeit gelangten die äufseren Teile endlich nach einem Punkte, wo sich Schwungkraft und Gravitation das Gleichgewicht hielten. Diejenigen äquatorialen Teile nun, welche gleich stark unter dem Einflufs der einen wie der andern Kraft standen, nahmen nicht weiter an dem Rückzug teil, weil die Schwungkraft die Wirkung der Gravitation aufhob; sie trennten sich als Nebelring von dem Nebelsphäroid und setzten die Rotation um den Centralkörper mit selbständiger Rotationsgeschwindigkeit fort. Aber auch weiterhin verlor dieser an Volumen; er verdichtete sich mehr und mehr, wodurch die Schwungkraft abermals vergröfsert wurde, und es löste sich ein neuer Ring an derjenigen Stelle ab, wo sich wiederum Schwungkraft und Gravitation das Gleichgewicht hielten, wo also die ringförmige äquatoriale Masse der weiteren Kontraktion des Nebelsphäroids nicht folgen konnte.

Das eben Dargestellte läfst sich kurz in folgende Sätze zusammenfassen: Von einem rotierenden Sphäroid trennt sich dann ein Ring ab, wenn den infolge der Rotation am Äquator anschwellenden Massen eine Schwungkraft mitgeteilt wird, welche der Wirkung der Gravitation auf diese Teile des Sphäroids gleich ist. Je weiter die durch die Gravitation herbeigeführte Verdichtung fortschreitet, desto mehr beschleunigt sich die Rotation; je beschleunigter die Rotation, desto

gröfser die Schwungkraft am Äquator; je gröfser diese, desto näher eine Ringbildung.

Im kleinen beobachten wir eine solche heute noch am Saturn. Wie hier mehrere concentrische Ringe den Hauptplaneten umspannen, so umgaben einst (wenn auch nicht gleichzeitig) so viele Ringe den Sonnenkörper, als sich Planeten um die Sonne bewegen, und zwar begann sich immer dann ein neuer innerer Ring abzulösen, wenn am Äquator des Nebelsphäroids Gleichheit zwischen Centrifugalkraft und Gravitation eintrat.

Diese Ringe aber konnten ebenfalls nur vergängliche Erscheinungen sein. Zunächst erlangten sie allein dadurch eine gewisse Breite und Dicke, dafs der zuerst entstandene Ring die unmittelbar angrenzenden Dunstmassen an sich rifs, die natürlich andere Rotationsgeschwindigkeiten und Centrifugalkräfte besafsen und so das Gleichgewicht innerhalb des Ringes störten. Vielleicht trugen auch die Anziehungskräfte der Nachbarplaneten, sowie Veränderungen des Aggregatzustandes oder chemische Verbindungen innerhalb des Ringes hierzu bei.

Erfolgte nun an einer Stelle desselben eine Anhäufung von Stoff, so raffte diese vermöge ihrer gröfseren Anziehungskraft immer mehr Teile des Ringes an sich, führte eine Trennung desselben an der gegenüberliegenden Stelle herbei und vereinigte endlich die ganze Masse des ursprünglichen Ringes in sich. Öfter zerteilte sich wahrscheinlich der Ring in viele Stücke; doch bewahrte nur der Planetoidenring eine solche Zersplitterung. In den übrigen Fällen zog der Hauptteil alle anderen an sich. Die aus dem Ringe hervorgegangenen Massen setzten ihren Weg um die Sonne fort, nahmen aber auch zugleich eine Rotationsbewegung von West nach Ost an, weil die äufseren Teile des Ringes eine gröfsere Geschwindigkeit hatten als die inneren und in diesem Sinne nach dem Zerreifsen des Ringes voraneilten. Durch die Rotation aber erhielten jene gasförmigen oder flüssigen Massen wieder eine sphäroidische Gestalt. Bei ihnen wiederholte sich, wenn auch nicht immer vollständig, Abplattung und Ringbildung; aus den Planetenringen aber entwickelten sich Monde. Die verschiedenen Stadien dieses Prozesses sind teilweise heute noch sichtbar und besonders durch Saturn und sein Gefolge aufs herrlichste illustriert.

Wenn die äufseren Planeten eine zahlreiche Mondschar und eine weit gröfsere Masse haben als die inneren, so erklärt sich dies zum Teil daraus, dafs die äufseren Ringe, aus denen sie sich bildeten, einen viel gröfseren Umfang hatten und somit auch aus viel ansehnlicheren Massen bestanden.

Da ferner im Sinne der Kant-Laplaceschen Hypothese die äufseren Ringe sich zuerst loslösten, die inneren später, als der all-

gemeine Verdichtungsprozess schon weit fortgeschritten war, so müssen auch die letzten Produkte der Ringabsonderungen dichter sein als die früheren, und in der That stimmen die folgenden Zahlen hiermit überein. Betrachtet man nämlich die mittlere Dichtigkeit der Erde als Einheit, so ergiebt sich als Dichtigkeit für Neptun 0,19, für Uranus 0,21, für Saturn 0,14, für Jupiter 0,24, für Mars hingegen 0,67, für die Erde 1,00, für Venus 0,91, für Merkur 0,80. Freilich sind diese Zahlen, die verhältnismäfsig nur geringe Anomalien zeigen, insofern nicht ganz beweiskräftig, als die vier inneren Planeten infolge ihrer Kleinheit stärker erkaltet und somit mehr verdichtet sind als die vier äufseren, welche es nur ihrer Gröfse verdanken, dafs sie sich noch im glühendflüssigen Zustande befinden, da die Massenverhältnisse der Kugeln wie die Kuben, die Wärme ausstrahlenden Oberflächen hingegen nur wie die Quadrate der Kugeldurchmesser wachsen. Wichtiger noch ist in dieser Hinsicht die Thatsache, dafs die Dichtigkeit der Satelliten, wie dies für den Mond und die Jupitertrabanten nachgewiesen ist, geringer ist als die der Hauptplaneten, zu denen sie gehören.

Durch einen sinnreichen Apparat gelang es Plateau, den Werdeprozess des Sonnensystems gleichsam im Wasserglase zu wiederholen. Er senkte nämlich vorsichtig mit Hilfe einer Pipette Olivenöl in ein Gefäfs mit Wasser, welchem er durch Zusatz von Alkohol genau die specifische Schwere des Olivenöls gegeben hatte. Der in dem neutralisierten Raume schwebende Öltropfen nahm augenblicklich Kugelgestalt an, und so oft neue Tropfen eingeführt wurden, vereinigten sie sich mit dem ersteren zu einer gröfseren Kugel. Wurde nun mittels einer kleinen Scheibe, die an einer drehbaren Achse befestigt war und in die Mitte der Kugel zu liegen kam, die Ölkugel in Rotation versetzt, so plattete sich bei langsamer Rotation die Kugel an den beiden Polen ab. Wurde die Geschwindigkeit langsam vermehrt, so löste sich am Äquator der Kugel ein Ring ab, welcher sich im Sinne des Ölsphäroids bewegte. Bei vergröfserter Geschwindigkeit, die sich durch die Flüssigkeit auch dem Ölringe mitteilte, zerrifs derselbe, um einzelne Kugeln zu bilden, welche in gleicher Weise, wie vorher der Ring, die Hauptkugel umkreisten und gleichzeitig in derselben Richtung wie diese sich um ihre Achse drehten. Wurde die Geschwindigkeit rasch vermehrt, so gelang es sogar, statt des Ringes sofort Kugeln und zwar zuerst gröfsere und hierauf kleinere zu erhalten. Sind auch bei dem Plateauschen Experiment teilweise andere Kräfte mit thätig, so die eigentümlichen Spannungen an der Oberfläche von Flüssigkeiten, während bei der Entstehung des Sonnensystems fast einzig und allein die Gravitation als centralisierende Macht auftritt, so bleibt doch die Wirkung der Centrifugalkraft hier wie dort eine gleiche.

Schenken wir schon deshalb der Kant-Laplaceschen Hypothese unsere Gunst, weil sie uns den Bau des Sonnensystems und seine mathematischen Verhältnisse in einfacher und ungezwungener Weise zu erklären vermag, so gewinnt sie durch das Plateausche Experiment noch mehr Vertrauenswürdigkeit.

Ferner haben die neueren spectroskopischen Untersuchungen Ergebnisse geliefert, welche mit jener Hypothese gut übereinstimmen. Durch das Spectroskop ist nämlich erwiesen, dafs die sogenannten Nebelflecke nicht immer Sternenhaufen sind, die sich wegen ungeheurer Entfernung von dem irdischen Beobachter nicht in Sternenscharen zerlegen lassen, sondern dafs wirklich glühende Dunstmassen im Weltraum schweben. Dürfen wir diese für unverdichteten Urstoff, für Stoff zu neuen Sternenbildungen halten, — und dafür lassen sich gewichtige Gründe anführen (vgl. S. 34 ff.) — so liegt der Gedanke aufserordentlich nahe, dafs auch unser Sonnensystem aus solchen Nebelmassen hervorgegangen ist.

Endlich können wir zur weiteren Begründung der Kant-Laplaceschen Hypothese noch die Thatsache erwähnen, dafs zahlreiche und wahrscheinlich nur irdische Grundstoffe auf der Sonne vorhanden sind, welche sich, in Dampfform aufgelöst, einem Schleier gleich über den Leuchtkörper der Sonne ausbreiten, und dafs ferner die planetarischen Lufthüllen hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung der irdischen Atmosphäre nahe verwandt sind. Das ganze Sonnensystem wird demnach im wesentlichen aus gleichartigen Elementen gebildet, worin wir offenbar eine Hindeutung auf einen gemeinsamen Ursprung desselben erkennen dürfen.

Die Entwicklung des Erdkörpers würde also nach der Kant-Laplaceschen Hypothese folgende gewesen sein: Die Stoffe, aus denen der Erdball jetzt besteht, waren im Anfang Dunstmassen, welche dem grofsen, den Raum des Sonnensystems erfüllenden Nebelsphäroid angehörten. Infolge allmählich zunehmender Verdichtung und beschleunigter Rotationsgeschwindigkeit sonderten sie sich — wie die Stoffe eines jeden der anderen Planeten — als Nebelring von der inneren Hauptmasse ab. Dieser Nebelring zerrifs endlich und ballte sich zu einem relativ kleinen Nebelsphäroid zusammen, das, zugleich rotierend, in der Richtung von West nach Ost die centrale Nebelmasse umkreiste.

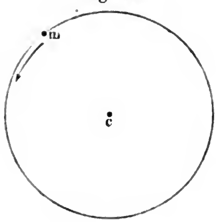
Jener Verdichtungsprozefs aber schritt auch innerhalb des Erdkörpers ununterbrochen weiter fort und führte schliefslich zu einer Veränderung des Aggregatzustandes der Erde; aus dem Nebelball wurde eine flüssige Kugel, welche natürlich immer noch von einer sehr beträchtlichen Atmosphäre umgeben war. Nun ist jede

Compression eines Körpers von einer bedeutenden Wärmeentwicklung begleitet, also auch diejenige der Erde. Diese Wärme aber wurde in unserm Falle dazu verwendet, die Temperatur des Erdkörpers ansehnlich zu erhöhen. Demnach erscheint der Schlufs berechtigt, dafs die Erde, eben infolge jener Kontraktion, vormals ein glühendflüssiger Ball war. Da es jedoch wissenschaftlich nicht erlaubt ist, eine Hypothese aus einer anderen abzuleiten, so darf die Kant-Laplacesche Hypothese durchaus nicht angerufen werden zur Erhärtung der Glutflüssigkeit des Erdballs in früheren geologischen Zeitaltern.

Wir wollen nun in dem folgenden die Thatsachen prüfen, welche als Zeugnisse für eine ehemalige Glutflüssigkeit des Erdkörpers angeführt werden können.

Gewöhnlich wird hier zuerst darauf hingewiesen, dafs die Erde an ihren beiden Polen abgeplattet ist. Theoretisch läfst sich der Grad der Abplattung einer rotierenden Kugel, die noch nicht in den Zustand der Erstarrung übergegangen ist, in folgender Weise feststellen:

Fig. 42.



Ein Körper m, welcher den Punkt c umkreist (Fig. 42), äufsert beständig das Bestreben, sich von dem Mittelpunkte seiner Bahn zu entfernen. Bezeichnen wir mit f die Gröfse der Fliehkraft des Körpers m am Äquator, mit r den Radius der Kreisbahn, mit T die Umlaufszeit in Sekunden und mit π das Peripherieverhältnis 3,14, so ist $f = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$. Die Länge des Äquatorialhalbmessers beträgt aber 6 377 397 Meter und die Umlaufszeit (d. i. ein Sterntag) 86 164 Sekunden; es ist also $f = \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 6\,377\,397 \text{ M.}}{86\,164^2} = 0{,}0339$ Meter.

Da nun die Fliehkraft der Schwere direkt entgegenwirkt, so ist die Beschleunigung der Schwere am Äquator infolge der Erdrotation um 0,0339 Meter geringer als an den Polen; sie ist gleich 9,7807 Meter (statt 9,8146 Meter). Es ist demnach die Kraft, mit welcher ein Körper gegen die Erdoberfläche herabgezogen wird, infolge der Achsendrehung am Äquator um $^1/_{290}$ kleiner als an den Polen. Die Abplattung der Erde ist nun ein Resultat der durch die Fliehkraft am Äquator verminderten Schwere.

Dies erklärt sich am einfachsten in der folgenden Weise[1]): ac

[1]) Vgl. Joh. Müller, Lehrbuch der kosmischen Physik. 4. Aufl. Braunschweig 1875. S. 67.

und *dc* (Fig. 43) stellen zwei mit Wasser gefüllte Kanäle dar, welche im Mittelpunkt der Erde zusammentreffen und von denen der eine am Nordpol *a* und der andere bei einem Punkte *d* des Äquators ausmündet. Im Zustande der Ruhe erreicht das Wasser in beiden Kanälen dieselbe Höhe; bei eintretender Rotation um die Achse *ab* aber verliert die Schwerkraft bei *d* $^1/_{290}$ ihres Wertes. Betrachten wir eine zweite in der Äquatorialröhre liegende Wasserschicht *r*, welche nur $\frac{1}{n}$ so weit von *c* entfernt ist wie *d*, so ist hier zwar die Fliehkraft *n*mal geringer; zugleich aber ist auch (nach dem Gesetze der allgemeinen Massenanziehung) die Kraft, mit welcher die Schicht *r* gegen *c* hinstrebt, *n*mal kleiner als das Gewicht einer gleichen Wasserschicht bei *d*. Mithin wird auch hier der Zug der Schwere durch die Fliehkraft um $^1/_{290}$ vermindert; er ist um $^1/_{290}$ kleiner als die Zugkraft, welche auf die gleichweit von *c* abstehende Schicht *p* in der Polarröhre wirkt. Ganz dasselbe gilt für alle entsprechenden Schichten der beiden Röhren. Es ist demnach klar, daſs infolge der Erdrotation die Gesamtkraft, welche das Wasser in der Röhre *dc* gegen den Erdmittelpunkt treibt, um $^1/_{290}$ kleiner ist als dieselbe Kraft in der Röhre *ac*. Somit muſs, wenn Gleichgewicht des Wassers in beiden Kanälen stattfinden soll, die Wassersäule in der Äquatorialröhre *dc* um $^1/_{290}$ länger sein als die Wassersäule in der Polarröhre *ac*. War die Erde vormals eine flüssige Kugel, so müſsten Äquatorial- und Polarhalbmesser dasselbe Gröſsenverhältnis besitzen wie die Wassersäulen in den hypothetischen Röhren, d. h. die Erde müſste eine Polarabplattung von $^1/_{290}$ zeigen. In der That stimmt dieser Abplattungswert in überraschender Weise mit dem aus den Pendelbeobachtungen abgeleiteten überein. Somit darf die Abplattung der Erde als eine Folge ihrer Achsendrehung angesehen werden, und somit erscheint der Schluſs berechtigt, daſs unser Planet ehemals ein flüssiger Körper war.

Fig. 43.

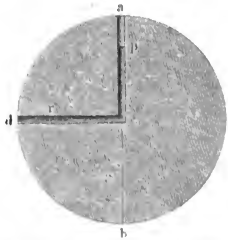


Diagramm zur Erläuterung der Erdabplattung.

Indessen hat diese Beweisführung, so überzeugend sie auf den ersten Blick ist, schlieſslich doch für unsere Zwecke nur einen relativ geringen Wert. Sie läſst nicht bloſs die Möglichkeit noch offen, daſs die Erde ehemals aus einer flüssigen Masse von verhältnismäſsig niedriger Temperatur bestand oder sogar eine kalte plastische Substanz war, sondern gestattet sogar die Annahme eines von Anfang an festen

Erdkörpers. Man hat nämlich berechnet, daſs jede elastische feste Kugel von der Gröſse und Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde unter dem Einfluſs der Centrifugalkraft eine Umbildung erleiden und schlieſslich eine Gestalt erlangen muſs, welche der gegenwärtigen Erdgestalt fast völlig entspricht. Da nun alle uns bekannten Körper in diesem Sinne elastisch sind, so haben wir kein Recht, aus der Abplattung der Erde den flüssigen Zustand derselben in früheren Zeitaltern abzuleiten.

Viel besser als aus der Abplattung läſst sich die ehemalige Flüssigkeit des Erdkörpers aus seinem specifischen Gewicht erweisen. Die mittlere Dichtigkeit unseres Planeten beträgt 5,6 (vgl. S. 194). Diese Zahl muſs überraschen, wenn man bedenkt, daſs das specifische Gewicht der Felsmassen, welche die feste Erdrinde bilden, nicht einmal halb so groſs ist (2,4 bis 2,6), während das der kontinentalen und oceanischen Oberfläche zusammen dem Werte 1,5 nahe kommt. Daraus folgt, daſs die Dichtigkeit des Erdinnern nicht bloſs den oben erwähnten Mittelwert, sondern wahrscheinlich sogar den Wert 10 überschreitet. Erwägt man nun, daſs Mittelpunkt und Schwerpunkt der Erde zusammenfallen und daſs die Schwerkraft an allen Punkten der Erdoberfläche sich nur sehr wenig und sehr gleichmäſsig ändert, so wird man zu der Annahme gezwungen, daſs die gleichdichten Massen des Erdinnern als concentrische Schichten den Erdkern umspannen und zwar in der Weise, daſs ihr specifisches Gewicht nach dem Erdmittelpunkte zu stetig wächst, bis sie in der Nähe desselben eine hohe metallische Schwere, etwa die des Silbers erreichen. Eine so regelmäſsige Lagerung der Massen aber setzt eine leichte Beweglichkeit innerhalb derselben, also Flüssigkeit aller Teile voraus. Ein Schluſs auf ein glutflüssiges Material kann auch in diesem Falle nicht gezogen werden. Übrigens lieſse sich jene harmonische Verteilung der Massen auch noch auf andere Weise erklären. Setzen wir voraus, daſs das Erdinnere aus annähernd gleichartigen Stoffen besteht, so könnte das allerwärts übereinstimmende Wachstum der Dichtigkeit nach unten auch als das Ergebnis des von allen Punkten der Erdoberfläche her gleichmäſsig wirkenden Druckes betrachtet werden.

Die auſserordentlich hohen und nach dem Erdmittelpunkte sich steigernden Temperaturen rechtfertigen am besten die Annahme einer einstmaligen Glutflüssigkeit der Erde. Wäre nämlich unser Planet im Anfang eine kaltflüssige Masse mit geringer Eigenwärme gewesen, so müſste sein Inneres schon längst die Temperatur des Weltraumes (nach Pouillets Berechnung — 142° C.) besitzen, und nur die Sonnenwärme vermöchte diesem gefrorenen Ball an seiner Oberfläche höhere Temperaturen zu verleihen. Dann aber müſste man beim

Eindringen in die Erdrinde eine Verminderung der Temperatur beobachten, während doch im Gegenteil eine Erhöhung derselben zu bemerken ist (vgl. S. 201 ff.). Wir können noch hinzufügen, dafs in diesem Falle längst schon Wasser und Luft von der Erdoberfläche verschwunden und, dem Gesetz der Schwere folgend, in das Erdinnere hinabgesunken sein müfsten, da hier jene hohen Wärmegrade fehlen würden, welche heute noch Wasser und Luft in hoch erhitztem Zustand nach der Erdoberfläche zurücktreiben und so diesen Aufsaugungsprozefs verhindern (vgl. S. 56. 109).

Als letztes Argument für die vormalige Glutflüssigkeit des Erdkörpers führen wir noch die früher (S. 99 ff.) besprochenen physischen Zustände der äufseren Planeten an. Der noch mächtig brodelnde, Dämpfe ausstofsende Jupiter und der wiederholt „vierschultrig“ gesehene Saturn sind zweifellos heute noch glühend-flüssige Welten. Dasselbe gilt wahrscheinlich auch von Uranus und Neptun; wenigstens weisen ihre relativ bedeutende Leuchtkraft und ihr geringes specifisches Gewicht darauf hin. Hat die Erde denselben Entwicklungsgang gehabt wie die genannten Planeten, — und wir haben keine Gründe, für sie eine besondere Kosmogonie in Anspruch zu nehmen, aber viele, sie mit den übrigen Planeten unter ein und dasselbe Bildungs- und Entwicklungsgesetz zu stellen — dann mufs sie einst ein glutflüssiger Körper gewesen sein.

Der glutflüssige Erdball konnte auch diesen Aggregatzustand nicht für die Dauer behalten, da er durch einen eisigen Himmelsraum dahineilt, dessen Temperatur vielleicht — 142° C. beträgt. Er verlor allmählich durch Ausstrahlung so viel Eigenwärme, dafs in ähnlicher Weise, wie wir es jetzt auf der Sonnenoberfläche beobachten, Schlacken entstanden, welche nach und nach ein immer gröfseres Terrain bedeckten und schliefslich die glutflüssige Masse mit einer starren Kruste überzogen. In der Epoche der ältesten Erdrevolutionen mag der Verlust, den die Centralwärme der Erde erlitt, sehr beträchtlich gewesen sein; jetzt aber ist er für unsere Instrumente kaum mefsbar.

Nun erhebt sich die Frage: Ist das Erdinnere jetzt noch glutflüssig, oder ist bereits der ganze Erdkörper bis ins Centrum eine starre Masse? Sind überhaupt die in gröfseren Tiefen ermittelten hohen Temperaturen in Verbindung zu bringen mit dem glutflüssigen Zustande des Erdballs in früheren geologischen Zeitaltern?

Man hat häufig die Thatsache, dafs sich im Erdinnern aufserordentlich hohe Wärmegrade vorfinden, aus chemischen Prozessen abgeleitet, welche dort ununterbrochen Wärme erzeugen. Wollen wir auch die Existenz derartiger Prozesse nicht in Abrede stellen, so darf man doch mit Sicherheit behaupten, dafs in den uns zugänglichen

Tiefen so intensive und allgemein verbreitete chemische Prozesse nicht bekannt sind, aus welchen sich die dort beobachtete Wärme erklären liefse.

Doch müssen wir uns ebenso sehr davor hüten, die Temperaturen des Erdinnern zu überschätzen. Vor allen Dingen darf man nicht glauben, dafs die Wärmegrade, die in den obersten Stockwerken der Erde durchschnittlich auf je 33 Meter um 1° C. wachsen, gleichmäfsig mit der Tiefe, also in arithmetischer Progression zunehmen (vgl. S. 211 ff.). Dieses Gesetz gilt jedenfalls nur für die uns erreichbaren Tiefen; auf gröfsere Tiefen angewandt würde es zu Folgerungen führen, welche durch andere Erscheinungen widerlegt oder doch sehr zweifelhaft gemacht werden. In einer senkrechten Tiefe von 37 620 Metern, also von c. 5 geogr. Meilen, würde hiernach die Erdwärme bereits 1140° C. betragen, woraus man sogar weiter den Schlufs gezogen hat, dafs hier granitische Massen im feuerflüssigen Zustande existieren. Solche in der Jugendhitze des Vulkanismus ausgesprochene Lehren sind jetzt nicht mehr haltbar. Erstens steigert sich die Wärme in gröfseren Tiefen weniger rasch als an der Oberfläche, so dafs die geothermischen Tiefenstufen in gröfseren Tiefen auch gröfsere Werte erlangen, bis zuletzt wahrscheinlich eine Grenze sich vorfindet, unterhalb welcher die Temperatur bis zum Erdmittelpunkte ziemlich konstant ist. Zweitens aber sind die aus Versuchen im Laboratorium bekannten Schmelztemperaturen für Gesteine hier nicht brauchbar, weil sich der Schmelzpunkt aller Stoffe erhöht, sobald ein gröfserer Druck auf ihnen lastet. So ergaben sich z. B. für Walrat, Wachs, Schwefel und Stearin folgende Schmelztemperaturen[1]):

Druck in	Schmelztemperatur von			
Atmosphären	Walrat	Wachs	Schwefel	Stearin
1	51° C.	64,5° C.	107,0° C.	72,5° C.
519	60	74,5	135,2	73,6
792	80,2	80,2	140,5	79,2

Im Laboratorium herrscht nur der Druck einer Atmosphäre, also einer 760 Millimeter hohen Quecksilbersäule: eine verschwindend kleine Gröfse gegen eine Felsenlast von 5 oder 10 geogr. Meilen Mächtigkeit! Wächst doch unter einer Gesteinssäule von dieser Höhe der Druck auf 9000 bis 18000 Atmosphären! Je gröfser aber der Druck ist, um so mehr hindert er die Beweglichkeit der unter seinem Einflusse stehenden Moleküle; also werden Substanzen bei grofsem Druck einer gröfseren Wärme bedürfen, um flüssig zu werden, als bei vermindertem

[1]) Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. 3. Aufl. Leipzig 1875. Bd. III, S. 556.

Druck, ganz analog, wie Wasser auf hohen Bergen bei geringerem Luftdruck früher, d. h. bei niedrigeren Temperaturen zu sieden beginnt als am Meeresspiegel. Welche Wärme bei dem Druck gewaltiger Felslager erforderlich ist, um die Massen in den Tiefen der Erde in feuerflüssigem Zustand zu erhalten, läfst sich bis jetzt nicht genau ermitteln. Der Druck, welchem das Material innerhalb der Erde unterworfen ist, kann in keinem Laboratorium erzeugt werden; seine Wirkungen können also nicht durch Experimente direkt bestätigt werden. Schon in einer Tiefe von 150 engl. Meilen ($37\frac{1}{2}$ geogr. Meilen) würde er gegen eine Million Pfunde auf einen engl. Quadratzoll betragen: ein Druck, der vielleicht schon hinreicht, die glutflüssigen Massen in den festen Aggregatzustand überzuführen [1]. So lange also nicht gezeigt werden kann, dafs die ausdehnende Kraft der Wärme bei gewissen hohen Temperaturgraden die zusammendrückende Kraft der Schwere überwindet, wird es verstattet sein, sich zu denken, dafs die Erde starr sei bis in das innerste Mark.

Allerdings hat Andrews für einige Körper experimentell festgestellt, dafs sie bei einer bestimmten Temperatur, die man den kritischen oder absoluten Siedepunkt nennt, in jedem Falle den gasförmigen Zustand annehmen, selbst wenn man sie einem noch so hohen Druck aussetzt. So vermag man Kohlensäure bei einer Temperatur von über 31° C. nicht mehr flüssig zu machen; sie existiert dann unter jeder Bedingung nur in Gasform. Für Äther liegt der kritische Siedepunkt bei 200°, für Alkohol bei 250°, für Wasser bei 580° C. Darf man das, was an so flüchtigen Stoffen beobachtet wurde, auch auf die den Erdball zumeist bildenden schwerflüssigen Körper übertragen (darin liegt freilich das Unsichere der Schlufsfolgerung), so ist denselben bei einem Schmelzpunkt von 2000 bis 3000° C. und einem Siedepunkt von 3000 bis 5000° C. eine kritische Temperatur von 6000 bis 7000° C. zuzuschreiben [2]. Liefse sich das letztere experimentell beweisen, so wäre es wahrscheinlich, dafs das Erdinnere nicht allein in flüssigem, sondern in seinen gröfsten Tiefen in einem „überkritischen“ gasähnlichen Zustande sich befindet, wie dies neuerdings A. Ritter [3]) darzulegen versucht hat. Wird freilich die innere Gasmasse infolge der ungeheuren Belastung auf den möglichst engsten Raum zusammengeprefst, so haben wir uns vorzustellen, dafs die ein-

[1]) James D. Dana, Results of the Earth's Contraction in dem American Journal of Science and Arts. July 1873, p. 11.

[2]) K. Zöppritz in den Verhandlungen des ersten deutschen Geographentages zu Berlin am 7. und 8. Juni 1881. Berlin 1882. S. 25.

[3]) Anwendungen der mechanischen Wärmetheorie auf kosmolog. Probleme. Hannover 1879.

zelnen Teilchen, weil sie in engste Berührung mit einander kommen, aller Verschiebbarkeit entbehren; jene Masse müfste also absolut starr sein. Trotzdem dürfte man diesen Zustand als einen gasähnlichen bezeichnen, weil sich bei jeder Befreiung von dem Drucke die Masse wie ein gasförmiger Körper ausdehnen würde [1]).

Ist die Wärme so gewaltig, dafs nur der Druck die Felsarten zu starren Körpern macht, so kann eine plötzliche Beseitigung des Druckes, vielleicht durch Spaltenbildung, stark erhitzte, aber bis dahin noch starre Gesteinsmassen in Flufs bringen. In diesem Sinne ist daher auch der Ausbruch von Laven aus tiefen Erdspalten nichts weniger als ein untrüglicher Beweis von dem schmelzflüssigen Zustande des Erdinnern.

Um in jedem Falle die Glutflüssigkeit des Erdinnern zu retten, hat man behauptet, dafs sich die Felsen der festen Erdkruste wie Brückenbogen über das glutflüssige Erdinnere spannen, wodurch die vom Erdinnern zu tragende Last bedeutend vermindert werde. Dieses Argument ist jedoch ebenso wenig stichhaltig wie die anderen; denn wenn auch manche Teile des Erdinnern auf diese Weise gegen den direkten Druck der über ihnen lagernden erstarrten Schichten geschützt sein sollten, so ruhen doch auf den Pfeilern jenes Gewölbebaues um so gröfsere Lasten, und der von ihnen ausgeübte seitliche Druck würde ein Äquivalent sein für den direkten Druck von oben, welchen die unter den Bogen befindlichen Massen entbehrten [2]).

Mehr noch dürfte die mineralogische Gleichförmigkeit der Laven und Auswürflinge aller auf dem weiten Erdkreis liegenden thätigen Vulkane für einen gemeinsamen ungeheuren Schmelzofen in der Tiefe zeugen. Indessen liefse sich diese Erscheinung auch durch die Annahme mächtiger Spalten erklären, welche den festen Erdkern durchsetzen und den glutflüssigen Massen eine Kommunikation gestatten. Übrigens zeigen bisweilen selbst die Laven benachbarter Vulkane wenig Verwandtschaft. So sind die Laven, welche aus dem Ätna hervorbrechen, verschieden von den Laven der liparischen Vulkane, und ebenso haben die vesuvischen Leucitlaven keine Ähnlichkeit mit den Trachytströmen Ischias. Diese Vulkane, ihre Laven und ihre Thätigkeit sind somit ganz unabhängig von einander [3]).

Einen ganz eigentümlichen Weg zur Lösung des Problems von einem glutflüssigen Erdinnern hat W. Hopkins [4]) betreten, indem er

[1]) K. Zöppritz, l. c. S. 28.

[2]) Sir John Herschel, Physical Geography of the Globe. 5th edition. Edinburgh 1875. § 6, p. 7.

[3]) G. vom Rath, Der Vesuv. Berlin 1873. S. 48 f.

[4]) Researches in Physical Geology in den Philosophical Transactions of

seine Beweisführung auf das Vorrücken der Tag- und Nachtgleichen, Präcession genannt, stützt. Dieselbe würde nicht vorhanden sein, wenn die Erde eine vollkommene Kugel wäre, deren Schichten in gleichem Abstande vom Mittelpunkt dieselbe Dichte hätten. Nun findet sich jedoch am Äquator eine Anschwellung, eine Art Wulst, und indem Sonne und Mond auf die ihnen zugekehrte Hälfte desselben eine gröfsere Anziehungskraft ausüben als auf die abgewandte, sind sie unablässig bestrebt, die Erdachse rechtwinklig zur Ekliptik zu stellen. Diese Kippbewegung vereinigt sich mit dem viel kräftigeren Rotationsvermögen der Erde zu einer wirklichen Bewegung des Erdenpols, der infolgedessen, in ununterbrochener Wanderung begriffen, um den Pol der Ekliptik einen Kreis beschreibt. Der Stern α des Kleinen Bären, der bekannte Polarstern, welcher sich gegenwärtig bis $1^1/_2$ Grad dem Nordpol des Himmels nähert, war zur Zeit Hipparchs (in der Mitte des 2. Jahrhunderts v. Chr.) noch fast 12 Grad von demselben entfernt, während er im Jahre 2095 am meisten, nämlich bis auf 26 Minuten Entfernung gegen den Nordpol des Himmels vordringen wird. Nach 12000 Jahren wird α Lyrae (Wega) dem Nordpol nahe sein und den Namen Polarstern verdienen. Da jener Rückgang der Tag- und Nachtgleichen im Laufe eines Jahres 0° 0′ 50,10″ beträgt, so sind 25868 Jahre nötig, bis die Äquinoctien die ganze Ekliptik durchlaufen oder, was dasselbe ist, bis die Pole des Himmels die Pole der Ekliptik einmal umkreisen. Doch ist diese Bewegung keine gleichförmige, sondern erleidet kleine Schwankungen, deren Periode ungefähr $18^1/_2$ Jahre dauert. Sie entstehen dadurch, dafs sich die Erdachse der Achse der Ekliptik abwechselnd etwas nähert und sich dann wieder von ihr entfernt. Letztere Veränderungen in der Richtung der Erdachse bezeichnet man als Nutation.

Hopkins lehrt nun: Jene Kraftäufserungen der Sonne und des Mondes müfsten andere sein, wenn die Erde eine flüssige Lavakugel, bedeckt mit einer dünnen, abgekühlten Rinde, wäre; sie müfsten andere sein, wenn die Erstarrung bereits bis zu grofsen Tiefen fortgeschritten wäre, andere endlich, wenn die Erde bis zum Mittelpunkt starr wäre. Es galt nun, durch Rechnung zu finden, welcher dieser drei Zustände den beobachteten Thatsachen am besten entspricht. Hierbei ergab sich, dafs sich jene Bewegungen der Erdachse anders als gegenwärtig gestalten müfsten, wenn die Erde eine flüssige Kugel mit dünner, kalter Hülle wäre. Dagegen läfst sich behaupten, dafs man dieselben Erscheinungen wie jetzt wahrnehmen würde, wenn die Erde durch

the R. Soc. of London. Vol. CXXIX (1839), p. 381 sq.; Vol. CXXX (1840), p. 193 sq. und Vol. CXXXII (1842), p. 43 sq.

20*

und durch starr wäre. Endlich wurde ermittelt, daſs, wenn die Präcession der Tag- und Nachtgleichen und die Nutation der Erdachse in der beobachteten Weise vor sich gehen sollten, die Erde mindestens auf 172 bis 215 geogr. Meilen Tiefe oder bis zu einem Fünftel oder Viertel ihres Halbmessers starr sein müſste.

Hopkins' Theorie ist jedoch nicht unantastbar. Zwar erfreut sie sich noch immer der Anerkennung der meisten Mathematiker und Astronomen; allein es haben sich auch bedeutende Stimmen gegen sie erhoben. So hat Delaunay bereits im Jahre 1868 begründete Zweifel über Hopkins' Beweisführung geäuſsert, ebenso Mallet im Jahre 1873[1]). Namentlich bezeichnen sie dieselbe deshalb als fehlerhaft, weil sie nicht bloſs die Zähflüssigkeit des Erdkernes, sondern auch die Reibung an der Fläche, wo sich die feste Kruste und die flüssige Masse im Innern berühren, vernachlässige. Insbesondere ist durch die Untersuchungen von G. H. Darwin[2]) die Theorie Hopkins' unhaltbar geworden, und es darf mit Bestimmtheit ausgesprochen werden, daſs sich die Präcession eines flüssigen Sphäroids von derjenigen eines festen unter sonst gleichen Verhältnissen nicht unterscheiden würde.

Um die vulkanischen Erscheinungen erklären zu können, nahmen Hopkins und die Anhänger seiner Theorie an, daſs sich hie und da innerhalb der festen Kruste und zwar nahe der Oberfläche sehr groſse Höhlungen befinden, welche mit leichter schmelzbaren, bis auf den heutigen Tag noch flüssig gebliebenen Materialien erfüllt sind und gleichsam kolossale Blasenräume darstellen, die ganze Seen von feurigflüssiger Masse umschlieſsen. Durch diese Konstruktion gewinnt Hopkins allerdings den erforderlichen Apparat, um unter Mitwirkung noch anderer Bedingungen die vulkanischen Eruptionen überhaupt erklären zu können. Indes erweist sich dieser Apparat nach den obigen Auseinandersetzungen als überflüssig, da ja überhitzte Massen, die unter groſsem Drucke starr sind, sofort flüssig werden, sobald — infolge Zerklüftung und Verschiebung des Gesteins — eine genügende Entlastung eintritt.

In Hinsicht auf die hohen Temperaturen des Erdinnern wie die Glutflüssigkeit desselben gehört das bedeutende magnetische Moment des Erdkörpers zu den gröſsten Rätseln der physischen Erdkunde,

[1]) R. Mallet, On volcanic Energy in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLXIII (1873), p. 151 sq.

[2]) On the Precession of a Viscous Spheroid and on the remote History of the Earth in den Philosophical Transactions of the R. Society of London. Vol. CLXX (1879), p. 447—538.

da sich die beiden ersteren kaum mit beharrlichem Magnetismus vereinbaren lassen. In Rücksicht auf den letzteren möchte man fast geneigt sein, an dem feuerflüssigen Zustand des Erdkernes zu zweifeln.

Aus unseren Betrachtungen geht deutlich hervor, dafs zur Zeit über den Aggregatzustand des Erdinnern noch kein endgültiges Urteil ausgesprochen werden kann. Ob derselbe der feste, flüssige oder gasförmige ist, gehört zur Zeit noch unter die ungelösten Probleme. Doch darf man mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs die starre Erdkruste bereits eine bedeutende Mächtigkeit erreicht hat. Wäre dies nicht der Fall, so müfste überdies der Verlust des Erdkörpers an Eigenwärme sehr beträchtlich sein, und die unmittelbar damit zusammenhängende Erdkontraktion würde sich bald durch die Beschleunigung der Erdrotation deutlich wahrnehmbaren Ausdruck verschaffen. Da aber dieser sehr empfindsame Messer einer etwaigen Erdkontraktion bisher keinen solchen Vorgang mit Sicherheit erkennen liefs, — im Gegenteil ist ja der Tag seit Hipparchs Zeiten, jedenfalls infolge des Anpralls der Flutwelle an die östlichen Ränder der Kontinente, um einen allerdings aufserordentlich kleinen Wert länger geworden (vgl. S. 53 f.) — so sind wir zu dem Schlusse berechtigt, dafs die Erdkruste bis in grofse Tiefen hinab erstarrt ist.

VII. Schichtenbau der abgekühlten Erdrinde.

A. Allgemeine Vorbemerkungen.

(Rückblick auf die Anfangszustände der Erde. Sedimentäre und eruptive Gesteine. Das Alter geologischer Schichten und Schichtenstörungen. Geologische Karten.)

Die Astrophysik hat auf mannigfache Thatsachen aufmerksam gemacht, welche der Entstehung des Sonnensystems aus einer grofsen sphäroidischen Dunstmasse günstig sind. Die sogenannten planetarischen Nebel, runde oder ovale, scheibenähnliche Gewölke am Sternenhimmel, deren Zahl nach Sir John Herschel 25 beträgt und die A. v. Humboldt als „die wundersamsten Erscheinungen des Himmels" bezeichnet [1]), mögen sich noch im ersten Stadium der Entwicklung befinden, während sich bei den Nebelsternen (nebulous stars, d. h. wirklichen, von einem milchigen Nebel umgebenen Sternen) im Centrum bereits ein glutflüssiger Körper gebildet hat. Die meisten der Fixsterne aber haben sich schon zu flüssigen, weifsglühenden Kugeln verdichtet. Auf unserer Sonne beobachten wir unverkennbare Anzeichen eines noch weiter fortgeschrittenen Abkühlungsprozesses: die Sonnenflecken, welche periodisch in gröfseren Mengen wiederkehren. Fixsterne von rötlicher Färbung, z. B. ein Stern des Cepheus (Nr. 7582 des Katalogs der britischen Association), welchen Sir William Herschel wegen seiner aufserordentlichen Röte den Granatstern genannt hat [2]), sind wahrscheinlich der völligen Erstarrung ihrer Oberfläche noch näher, zumal die Mehrzahl von ihnen periodisch an Lichtstärke zu- und abnimmt. So bewegen sich die Helligkeitsveränderungen gewisser Sterne zwischen weiten Grenzen. Variabilis Scuti (des Sobieskischen Schildes) sinkt bisweilen von der fünften bis zur neunten

[1]) Kosmos. Bd. III, S. 331.
[2]) A. v. Humboldt, l. c. Bd. III, S. 235.

Gröfse herab. Im Maximum hat der Lichtwert von χ Cygni zwischen 6,7^m und 4^m, von Mira zwischen 4^m und 2,1^m geschwankt. Am raschesten wiederholen sich die Perioden des Lichtwechsels bei β Persei, nämlich in 68 Stunden 49 Minuten; doch vermutet man, dafs dieser Stern durch einen lichtlosen Begleiter verdunkelt werde. Bei 30 Hydrae Hevelii hingegen währt diese Periode 495 Tage.

Dafs die Planeten und auch unsere Erde ähnliche Entwicklungsstadien durchlaufen haben, wurde bereits früher (S. 82 und 303) angedeutet. Es mufste endlich ein Zeitpunkt eintreten, in welchem die oberflächlichen Stoffe unseres Planeten nach Mafsgabe ihres Schmelzpunktes in den festen Aggregatzustand übergingen. Anfänglich bedeckten wahrscheinlich nur einige relativ kleine Schollen die glutflüssige Oberfläche, welche periodisch durch die aus dem Innern aufsteigende Wärme wieder aufgelöst wurden, aber in immer reicherer Anzahl und in bedeutenderer Gröfse wiederkehrten, bis sie endlich nicht mhre wichen, und so war die Bildung einer festen Kruste eingeleitet.

Dieser Mantel aber pafste für die Dauer nicht genau zu dem glutflüssigen Kern. Früher legte man um die Fässer heifse Eisenreife, weil sich dieselben beim Abkühlen zusammenziehen und so die Dauben des Fasses besser zusammenhalten. Würden wir jedoch eine Granitmasse mit einem heifsen Reifen umspannen, so würde derselbe beim Abkühlen zerspringen, weil der Granit nicht so viel nachgiebt, als der Reif verlangt. Von ganz ähnlichen Erscheinungen war im Anfang die Abkühlung des glutflüssigen Erdballs begleitet. Mit der Erkaltung war notwendig eine Kontraktion verbunden[1]); der glutflüssige Erdkern aber widerstand zunächst dieser Kontraktion und zersprengte die äufsere starre Hülle. Die auf diese Weise hervorgerufene prismatische Zerstückelung derselben war jedenfalls die erste Veranlassung kleinerer Unregelmäfsigkeiten auf der Oberfläche unseres Planeten.

Sobald die starr gewordenen Oberflächenschichten eine ansehnliche Mächtigkeit erreichten, hatte die weitere Abkühlung des Erdinnern wesentlich andere Wirkungen. Infolge fortgesetzter Erkaltung ver-

[1]) Fr. **Pfaff** in Erlangen hat für einige Gesteine die Gröfse der Kontraktion von der Glühhitze bis zur gewöhnlichen Temperatur festgestellt. Er benützte hierzu Säulen von Granit aus dem Fichtelgebirge, von rotem Porphyr aus Tirol und von Basalt aus der Auvergne und fand, dafs sich bei einer linearen Erstreckung von 3¼ Metern für diese Gesteine von der Rotglühhitze bis zur gewöhnlichen Temperatur eine Kontraktion ergeben müfste:

bei Granit von 0,16 = 5,4 Centimeter,
bei Porphyr von 0,12 = 3,4 Centimeter,
bei Basalt von 0,12 = 3,4 Centimeter.

Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXIV (1872), S. 403.

kürzte auch der glutflüssige Kern seinen Durchmesser. Nun hätte sich die Erdrinde eigentlich ablösen und als eine freie concentrische Hülle den flüssigen Kern umschliefsen müssen. Innere Masse und äufsere Umhüllung pafsten ebenso wenig zu einander wie der Kern einer Nufs, welcher in seiner Schale klappert. Nach dem Gesetz der Schwere konnte jedoch ein solcher Mantel unmöglich den Kern frei umschweben; die Decke brach stellenweise bis zum glutflüssigen Kern hinab und schmiegte sich, gewissermafsen einen Faltenwurf bildend, an den Erdkern an. Könnten wir die obersten Schichten der Erde, welche jetzt vielfach gebogen und teilweise sogar über einander geschoben sind, aus ihrer jetzigen Lage herausnehmen und, indem wir sie genau aneinander fügten, eine von allen Unebenheiten befreite Kugelschale aus ihnen herstellen, so würde dieselbe hinsichtlich Gröfse und Form der ursprünglich starren Hülle des glutflüssigen Erdkörpers entsprechen. Warum gerade diese oder jene Teile der Erdoberfläche zu einem tieferen Niveau herabsanken, warum sich also die Weltmeere und die Kontinente gerade an den bekannten ihnen zugehörigen Räumen befinden, dürfte sich wohl niemals mit einiger Sicherheit bestimmen lassen. Wir können höchstens vermuten, dafs der Gegensatz zwischen oceanischen Tiefen und kontinentalen Höhen aus der örtlich relativ raschen oder langsamen Abkühlung der tieferen Erdschichten hervorgegangen ist. Vollzog sich dieselbe auf einem Raume vergleichsweise schnell, so entstanden im Erdinnern Hohlräume. Diese stürzten endlich zusammen, und an der Einbruchsstelle sammelten sich die tiefen oceanischen Wasser. Da hingegen, wo die Abkühlung allmählich erfolgte, ragten fortan die Kontinente als gewaltige Hochländer über das Niveau des Meeres empor. Der Seespiegel hat übrigens bei diesen Umwandlungen oft geschwankt, und dasselbe gilt natürlich von den Konturen der Festlande. Viele Ländergebiete sind wiederholt unter das Niveau des Meeres hinabgetaucht und aus dem Schofse desselben wieder emporgestiegen. So haben im Saarbrückener Kohlenbecken elfmal hinter einander Seebrandung und Flufswellen, wahrscheinlich aber blofs erstere, handgreifliche Spuren hinterlassen.

Bei näherer Untersuchung des Gesteins, aus welchem die Erdrinde zusammengesetzt ist, treten auch dem Uneingeweihten zwei grundverschiedene Formen deutlich entgegen. Da, wo Sandsteine, Schiefer oder Kalksteine vorherrschen, bemerken wir einen auffallenden Parallelismus der Lagen; erleidet eine Schicht irgendwo eine Biegung, eine Veränderung in der Richtung, so gehorchen meist auch alle anderen dieser Abweichung. Solche Gesteine könnten wir hinsichtlich ihres architektonischen Aufbaues als g e s c h i c h t e t e bezeichnen. Einen strengen Gegensatz zu denselben bilden die ungeformten Massen der Basalt-,

Trachyt- oder Porphyr-Berge. Bei ihnen finden wir keine Spur von geordneter Schichtung; vielmehr liegen zahlreiche gröfsere oder kleinere Krystalle regellos durcheinander. Hinsichtlich ihrer Struktur führen sie daher mit Recht den Namen Massengesteine.

Als charakteristische Merkmale der geschichteten Gesteine sind hervorzuheben: Ihre Lagen sind durch parallele Flächen begrenzt, und mit der Schichtung vereint ist gewöhnlich eine den Schichtungsflächen parallele schieferige Struktur. Ferner sind sie charakterisiert durch das Vorkommen von Rollstücken, welche offenbar dem Wasser ihre abgerundeten Formen verdanken, und endlich schliefsen sie nicht selten Reste von Tieren und Pflanzen ein, die entweder nur als Abdruck oder in Mineralsubstanz umgewandelt erhalten sind. Alle diese Merkmale aber sind auch den heutigen Absätzen der süfsen Gewässer und Meere eigentümlich. Sie würden den nämlichen Anblick gewähren, dieselbe Zusammensetzung zeigen und abgerundete Rollstücke, sowie versteinerte Tiere und Pflanzen uns überliefern, wenn sie trocken gelegt würden und erhärteten. Man darf daher mit Sicherheit annehmen, dafs die geschichteten Gesteine entweder aus einer wässerigen Lösung auskrystallisiert oder aus mechanischen Absätzen des Wassers hervorgegangen sind; man bezeichnet sie deshalb gewöhnlich als Sedimentärgesteine. Meist sind dieselben Ablagerungen des Meeres, während Schichten, welche durch Bäche und Flüsse in Sümpfen und Seen geschaffen worden sind, nur eine untergeordnete Bedeutung haben. Das Material aller Sedimentärgesteine stammt ursprünglich von älteren Felsarten, denen es durch die chemische oder mechanische Thätigkeit des Wassers entführt wurde. Bildete sich das Gestein durch einfachen Absatz gelöster oder fortgeführter Substanzen, so nennt man es minerogen; sind jedoch die Überreste organischer Körper dabei wesentlich, so ist es, je nachdem dies Tiere oder Pflanzen sind, zoogen oder phytogen. Die Abgrenzung einer Schicht gegen die andere wurde offenbar durch eine Änderung der Bildungsverhältnisse veranlafst.

In den krystallinischen Massengesteinen sucht man vergebens nach echter Schichtung und Schieferung; organische Überreste fehlen gänzlich; auch besitzen die hierher gehörenden Gesteine, z. B. Basalt oder Porphyr, keinerlei petrographische Verwandtschaft mit einem durch wässerigen Niederschlag in der Gegenwart entstandenen Mineralgemenge. Hingegen werden wir überrascht durch die grofse Ähnlichkeit der den Vulkanen entströmenden Lava selbst mit manchen älteren krystallinischen Massengesteinen; wir dürfen ihnen daher den gleichen Ursprung wie der Lava zuschreiben, weshalb für sie der Name eruptive Gesteine völlig zutreffend ist. Sie sind offenbar in engen oder weiteren Kanälen als glutflüssige Massen aus der Tiefe emporgestiegen

und hierauf erstarrt. Die Eruptivgesteine sind sowohl durch ihre massige Struktur, als auch durch die Abwesenheit von organischen Resten, durch säulenförmige oder sphäroidische Absonderung, glasige, schlackige Beschaffenheit, sowie durch das Vorhandensein von Glassubstanz zwischen und Glaseinschlüssen in den krystallinischen Mineralelementen charakterisiert. Die eruptiven Gesteine durchsetzen die übrigen in Form von Gängen oder Stöcken. Eruptiver Natur sind die Basaltgesteine, die Andesite und Trachyte, sowie die Syenite, Diorite, Melaphyre, Porphyrite und Diabase. Der Granit ist jedenfalls doppelten Ursprungs. Wo er, wie in der laurentischen und huronischen Formation, mächtige Glieder der ältesten sedimentären Schichtenreihe bildet, ist er offenbar ein sedimentäres Gestein; wo er hingegen in Gängen und Stöcken das Nebengestein durchbricht, ist er wohl zweifellos einstmals als glutflüssige Masse aus den Tiefen emporgepreſst worden.

Wie läſst sich nun das Alter geologischer Schichten feststellen? Nach der Anschauung früherer Geologen änderte das allgemeine Meer, auf dessen Grunde sich die verschiedenen Formationen ablagerten, nach und nach seine Beschaffenheit, damit zugleich aber auch die Qualität seiner Ablagerungen. Insoweit dieselben gleichzeitig erfolgten, muſsten sie demnach auch gleichartig sein: zu einer Zeit setzte das Meer nur Kalkstein, und zwar überall denselben, zu einer anderen Zeit nur Sandstein und zwar auf der ganzen Erdoberfläche von gleichem Korn und gleicher Farbe ab. Später jedoch zeigte sich, daſs diese Anschauung zwar für kleinere Gebiete Gültigkeit hat, aber nicht für gröſsere Länderräume, wie sie sich denn auch nur aus der Untersuchung eines beschränkten Teiles von Mitteleuropa ergeben hat.

Zunächst ist hier darauf hinzuweisen, daſs schon innerhalb eines und desselben Meeres die Ablagerungsprodukte je nach der geringeren oder gröſseren Entfernung von der Küste verschieden sein müssen. Wird eine Steilküste durch das brandende Meer zum Einsturz gebracht oder werden durch mächtige Sturmfluten gröſsere Blöcke, Kiesel und feinere Teile ans Ufer gespült, so liegen sie hier zunächst regellos durcheinander. Flut und Ebbe jedoch, sowie der regelmäſsige Wellenschlag wirken hier wie ein Schlämmwerk: sie führen die feinsten, schlammigen Massen den tieferen Teilen des Oceans zu, wo demnach Mergel- und Thonschichten aufgeschüttet werden; nach dem Ufer zu folgen Straten von Sand; an der Küste selbst aber finden wir Ablagerungen von grobem Kies. Gelangt in die Zwischenräume solcher Niederschläge des Meeres feines thoniges oder sandiges Material oder werden dieselben (nach ihrer Trockenlegung) durch ein kalkiges, kieseliges oder eisenschüssiges Cement aus eindringenden Mineral-

solutionen ausgefüllt, so werden die losen Anhäufungen zu festen Massen verkittet. Schlammschichten werden auf diese Weise zu Thonen und Mergeln, Sandschichten zu Sandsteinen, gröbere Kiesmassen zu Conglomeraten oder Breccien. Je nachdem die Ablagerungen dem Festlande, der Küste oder dem offenen Oceane angehörten, spricht man von einer kontinentalen, littoralen oder oceanischen Facies. So besteht die Steinkohlenformation, wo sie typisch entwickelt ist, aus einem unteren kalkigen (Kohlenkalk), einem mittleren, conglomeratartigen oder sandigen (flözleerer Sandstein) und einem oberen, kohlenführenden Schichtenkomplex. Die drei genannten Stadien repräsentieren Tiefsee-, Strand- und Sumpf- oder Süfswasserbildung, und wir dürfen demnach aus diesem Schichtenbau auf eine seculäre Hebung, auf ein Emporsteigen des Bodens aus oceanischen Tiefen schliefsen. In ähnlicher Weise, aber in umgekehrter Folge (wir müssen hier eine Senkung des Bodens unter das Niveau des Meeres annehmen) reihen sich in der deutschen und englischen Dyas von unten nach oben aneinander: das kohlenführende Rotliegende (kontinentale Facies), eine Sandstein- und Conglomerat-, also Strandformation und darauf eine Kalkstein-Dolomit-Gips-Formation (Tiefseebildung). Wurden somit an den Gestaden eines Meeres in geringerer und gröfserer Entfernung von denselben gleichzeitig Schichten von ganz verschiedenem petrographischen Charakter abgelagert, so kann von einer Gleichartigkeit der Sedimente innerhalb eines und desselben Meeres nicht die Rede sein.

Aus dem Vorkommen einer gewissen Steinart kann um so weniger auf das geologische Zeitalter ihrer Bildung geschlossen werden, als der petrographische Habitus der Sedimentärgesteine ein verhältnismäfsig sehr gleichförmiger ist, was einfach darin seinen Grund hat, dafs immer wieder dieselben mineralischen Stoffe gelöst oder abgenagt und ins Meer geschwemmt wurden, somit auch im allgemeinen immer die gleichartigen Sedimente sich niederschlagen mufsten. Es soll damit übrigens nicht geleugnet werden, dafs sich gleichaltrige Schichten in manchen Gegenden nicht aus dem Gesteinsmaterial bestimmen liefsen. So wird der rot oder bunt gefärbte Sandstein in den Vogesen und im Schwarzwald nach unten und oben von den gleichen Formationsgliedern begrenzt; offenbar haben wir es hier mit einer und derselben Ablagerung zu thun, welche durch die Oberrheinische Tiefebene in zwei isolierte Stücke zerschnitten ist. Auch die weitere Verbreitung dieser Schicht durch den Odenwald nach Hessen und Thüringen läfst sich Schritt für Schritt verfolgen. In diesem Gebiete gewährt uns also die Gesteinsbeschaffenheit ein vorzügliches Mittel, das Gleichaltrige selbst an entfernten Punkten sofort zu erkennen. Doch würde

es ein grofser Irrtum sein, diese Thatsache zu verallgemeinern und zu behaupten, dafs sich alle roten oder bunten Sandsteine zu derselben Zeit gebildet hätten. Es giebt Sandsteine in Schottland und Nordamerika, welche dem oben genannten äufserst ähnlich sind und doch in keinen genetischen Zusammenhang mit ihm gebracht werden dürfen; denn ihre Decken wie ihre Unterlagen bestehen aus ganz verschiedenaltrigem Gestein [1]).

Da mehrere Formationen nach gewissen Gesteinsarten bezeichnet werden, z. B. die Flysch- [2]), Kreide-, Lias- [3]), Keuper- [4]), Muschelkalk- und Buntsandsteinformation, so könnte dies zu der Meinung veranlassen, dafs wenigstens einigen Formationen gewisse Felsarten ausschliefslich und allein angehören. Es ist dies jedoch durchaus nicht der Fall. Einesteils wiederholen sich dieselben Sandsteine und Kalksteine, vielfach auch Mergel, Thone und Conglomerate fast in allen Formationen; andernteils aber sind in den meisten derselben zahlreiche Gesteinsarten vertreten. So ist beispielsweise das vorwaltende Material der Kreideformation auf Rügen, bei Calais und Dover weifse Schreibkreide, in der Sächsischen Schweiz Sandstein, in Hannover und Braunschweig Mergelkalk und plastischer Thon, in Frankreich, Belgien und dem östlichen Nordamerika Glaukonitmergel und im westlichen Kalifornien krystallinischer Schiefer [5]).

Es ist hier daran zu erinnern, dafs die Formationsnamen nichts anderes sind als chronometrische Notbehelfe. Einfache Zeitausdrücke sind nur für die vier grofsen Abteilungen im Gebrauch: nämlich die Ausdrücke primär, sekundär, tertiär und quartär. Für ihre Unterabteilungen bedient man sich teils einiger Ortsnamen, wie cambrische, devonische, jurassische, permische Formation, welch letztere Benennung man beispielsweise solchen Felsarten beilegt, die gleichzeitig abgelagert wurden wie gewisse Formationsglieder, die im Gouvernement Perm beobachtet wurden, oder es sind petrographische Bezeichnungen noch aus alter Zeit im Gebrauch (s. oben), wobei man z. B. unter der Kreideformation nichts anderes versteht als Felsarten, welche zu einer Zeit niedergeschlagen wurden, in welcher sich an gewissen Orten Kreide bildete. Endlich haben wir Namen, die sich auf die eingeschlossenen Versteinerungen beziehen, wie Steinkohlenformation,

[1]) Karl A. Zittel, Aus der Urzeit. 2. Aufl. München 1875. S. 54.

[2]) So wird in der Schweiz eine mächtige Schichtengruppe von dunkel gefärbten Schiefern, Mergeln und Sandsteinen genannt.

[3]) Provinzialname für thonigen Kalkstein in Somerset.

[4]) Provinzialname für einen dolomitischen Mergel bei Coburg.

[5]) Herm. Credner, Elemente der Geologie. 3. Aufl. Leipzig 1876. S. 351.

Eocän-, Oligocän-, Miocän-, Pliocän-Stufe der Tertiärformation. Dies alles aber sollen rein chronometrische Ausdrücke sein.

Auf welche Weise kann man nun bestimmen, ob Schichten, die vielleicht durch weite Zwischenräume von einander getrennt sind, gleiches Alter haben oder ob die eine oder die andere von ihnen relativ jung oder alt ist? Hierzu besitzen wir im wesentlichen nur ein Hilfsmittel: die Versteinerungen, jene Überreste aus der Tier- und Pflanzenwelt, welche, wenn auch oft nur in kümmerlichen Spuren, in den verschiedensten Formationen sich vorfinden. Die Paläontologie, d. i. die Wissenschaft von den Faunen und Floren der Vorwelt, ist eine Geschichte der Trachten. Ein Kenner von Altertümern wird uns z. B. leicht sagen können, dafs ein Helm aus der Zeit des römischen Kaisertums, ein Harnisch aus dem Zeitalter der Kreuzzüge, Zaum- und Sattelzeug aus der Periode der Renaissance, ein spanischer Hut aus dem 17. Jahrhundert, ein Degengriff aus der Rococozeit stammt. Nicht so rasch wie unsere Moden wechseln, wohl aber nach Ablauf grofser Zeiträume, hat auch die Natur eine Tracht nach der anderen abgelegt, nur dafs sie ihr Gewand nicht aus totem Stoff, sondern aus dem Leben selbst gewebt hat. Von besonderer Bedeutung dabei ist es, dafs sich jede derartige Änderung im allgemeinen gleichzeitig auf der ganzen Erde ereignete und dafs niemals die Fauna und Flora einer früheren Periode wiederkehrte. Je tiefer wir durch verschiedene Formationen in den Schofs der Erde hinabgelangen, um so mehr entfremden sich die organischen Formen von den heutigen Trachten der Tier- und Pflanzenwelt. Wir steigen, wie sich A. v. Humboldt ausdrückt, von Gruft zu Gruft, aus der Gegenwart durch die nahe Vergangenheit zu einer Vorzeit, für die uns jeder chronometrische Ausdruck fehlt.

Natürlich erfolgte die Umgestaltung der Tier- und Pflanzenwelt niemals wie mit einem Zauberschlage auf der ganzen Erde, sondern in der unendlichen Reihe zahlloser Generationen vollzog sich eine ganz allmähliche Annäherung an die heutige Schöpfung. Umwandlung und Einwanderung der Organismen waren vielfach von lokalen Verhältnissen abhängig; auch verstrichen geraume Zeiten, ehe neu auftretende Formen sich überall hin verbreiteten, alte auf isolierten Ländergebieten durch neue verdrängt wurden. Streng genommen dürfen wir daher nicht behaupten, dafs Formationen mit gleichen oder ähnlichen Versteinerungen gleichaltrig seien. Allein da überall auf Erden derselbe Entwicklungsprozefs stattgefunden hat und überall dieselben organischen Typen in gleicher Reihe auf dem Schauplatze der Schöpfung erschienen, so ist die Annahme gleichen relativen Alters für äquivalente Formationen erwiesen. So ist die devonische Formation an

allen Punkten der Erdoberfläche, so weit man Kunde von ihr hat, jünger als die Silurformation, aber älter als die Steinkohlenformation, weshalb sie überall, wo alle drei vorhanden sind, zwischen den beiden anderen lagert. Die laurentische Gneisformation ist stets die älteste, die Tertiärformation meist die jüngste der Formationen. Dagegen läfst sich nicht feststellen, dafs die devonische Formation Europas Millionen von Jahren älter oder jünger sei als die Amerikas, was uns auch ganz gleichgültig sein kann, da wir unser gewöhnliches Zeitmafs überhaupt nicht auf geologische Vorgänge übertragen können.

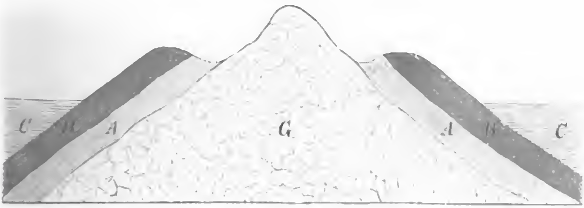
Nicht plötzlich, sondern ganz allmählich gingen, wie bereits erwähnt wurde, jene Umwandlungen vor sich; immer kamen nur einzelne Formen als neue zu den älteren hinzu, während von diesen wiederum nur einzelne ausstarben. Somit sind auch nicht alle fossilen Reste einer Formation charakteristisch für dieselbe, sondern nur solche, deren Existenz auf eine Periode beschränkt blieb. Man nennt dieselben Leitfossilien. So sind die Nummuliten Leitfossilien der Tertiärformation, die Hippuriten der Kreideformation, die Belemniten der Kreide- und Juraformation, die Sigillarien und Stigmarien der devonischen und der Steinkohlenformation, die Graptolithen der Silurformation.

Es kann demnach, um ein Beispiel anzuführen, unsere sogenannte europäische Kreideformation in den verschiedensten Räumen der Welt und unter den verschiedensten Klimaten wieder erkannt werden, selbst da, wo auch nicht ein Körnchen mineralischer Kreide dabei gefunden wird, wie z. B. in Nordamerika, Südamerika (Feuerland), im Kapland und in Indien. In diesen weit entfernten Räumen zeigen die in den Schichtungen eingeschlossenen Formen die überraschendste Ähnlichkeit mit denen in unseren sogenannten Kreidebildungen. Nicht dafs die nämlichen Arten wiederkehrten; denn oft haben sie auch nicht eine gemeinsame Art; alle Arten aber zählen zu gemeinsamen Familien und Gattungen und sind oft genug nur durch oberflächliche Skulpturen von einander unterschieden. Sonst aber fehlen über und unter der „Kreide“ aller Orten die nämlichen Formen.

Lehren uns die fossilen Überreste der Sedimentärgesteine die Zeit ihrer Ablagerung, d. h. die Zeit ihrer Entstehung beurteilen, so vermögen wir da, wo mehrere Schichten einander ungleichförmig (discordant) überdecken, aus den Lagerungsverhältnissen der Gesteine den Zeitpunkt zu bestimmen, in welchem die ursprüngliche Lage eine Störung erlitten hat. Auch hier kann es sich um nichts anderes als um Feststellung des relativen Alters handeln; es läfst sich also von der Zeit der Schichtenstörung nur sagen, dafs sie früher oder später als ein anderes geologisches Ereignis eingetreten sei.

Können sich Gesteine irgendwo ruhig ablagern, so folgen die neueren Bildungen den älteren immer in horizontalen Schichten. Wurden aber, bevor ein späterer Niederschlag zu Boden fiel, die älteren Schichten gefaltet, geknickt oder verworfen, so füllte die jüngere Bildung zunächst die vorhandenen Faltungen und Thäler aus. Überall da, wo sich horizontal liegende Schichten über Schichten mit gestörten Lagerungsverhältnissen ausbreiten, ereignete sich demnach der Akt der Schichtenstörung, nachdem die jüngste gefaltete, aber bevor die älteste horizontale Schichtenreihe entstanden war. Aus dem beigegebenen Querschnitt (Fig. 44) ergiebt sich, dafs die ursprünglich horizontalen

Fig. 44.



Altersbestimmung eines Gebirges.

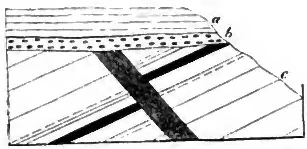
Schichten *A* und *B* aufgesprengt und aufgerichtet wurden, als die Gneismassen *G* emporstiegen. Die Hebung aber war bereits vollendet, als sich die noch horizontal liegenden Schichten *C* ablagerten, weil sie sonst ebenfalls von der Bewegung mit ergriffen und somit aus ihrer horizontalen Lage gedrängt worden wären. Gehört z. B. die horizontale Schicht *C* dem ältesten tertiären Abschnitt, ihre aufgerichtete Unterlage (das Liegende) *A* und *B* aber der jüngsten Stufe der Kreideformation an, so vollzog sich die Hebung am Ausgang der Kreidezeit.

In ähnlicher Weise, wenn auch weniger häufig, läfst sich der Zeitpunkt ermitteln, in welchem gewisse Eruptivgesteine emporgedrungen sind. Wir erläutern dies an dem beifolgenden Profil (Fig. 45)[1]). Ein durch das Steinkohlengebirge führender Spalt ist von einem Melaphyrgang durchsetzt. Die bei der Spaltbildung durch Verwerfung höckerig gewordene Oberfläche der carbonischen Schichten *(c)* wurde nach diesem Vorgang von den Meteorwassern geebnet, worauf

[1]) Hermann Credner, Elemente der Geologie. S. 326.

sich die Gebilde des Rotliegenden (*b*) und des Zechsteins (*a*) hier ablagerten, die bis heute in ihrer ursprünglichen horizontalen Richtung geblieben sind. Somit mufs jene Verwerfung, sowie das Emporquellen des Melaphyrs vor Beginn des dyassischen, also am Ende des carbonischen Zeitalters vor sich gegangen sein.

Fig. 45.



Altersbestimmung des Durchbruchs eruptiver Gesteinsmassen.
a Zechstein; *b* Rotliegendes; *c* carbonische Formation, durchsetzt von einem Melaphyrgang. Quarrington Hill bei Durham.

Nach denselben Grundsätzen bestimmt man ferner auch die Zeit, in welcher sich die Gebirge erhoben haben. Gebirge sind immer der Ausdruck gewaltiger Schichtenstörungen. Begegnen wir nun unmittelbar am Fufse eines Gebirges horizontalen Schichten, so fand die Erhebung vor deren Ablagerung statt, oder genauer: sie trat ein nach der Zeit, in welcher sich die jüngsten der aufgerichteten Schichten ablagerten, und vor der Bildung der horizontalen Schichten am Fufse des Gebirges. Da freilich die gebirgerhebenden Kräfte nicht mit einem Male und plötzlich gewaltige Gebirgsmassive geschaffen, sondern durch lange Zeiträume hindurch still und kaum bemerkbar, aber um so anhaltender und durchgreifender gewirkt haben, so wird streng genommen durch die obigen Schlufsfolgerungen nur die Zeit bestimmt, in welcher die Gebirgserhebung ihr Ende erreichte; denn alle jene Schichten, welche sich während derselben abgelagert hatten, wurden ja im weiteren Verlaufe dieses Prozesses von ihr ebenfalls mit erfafst. Doch läfst sich vielfach auch der Beginn des Hebungsaktes annähernd festsetzen. So wissen wir, dafs der Harz zwischen dem Ende des carbonischen Zeitalters und dem Schlusse der Kreideperiode emporstieg. Es fehlen nämlich dem eigentlichen Harze die obercarbonischen und dyassischen Schichten, welche ihn doch umlagern; das Harzterrain hatte sich also damals bereits aus dem Meere erhoben. Andrerseits reichen die Schichtenstörungen nur bis zum Ende der Kreidezeit.

Ein unentbehrliches Hilfsmittel bei Erörterung derartiger Fragen sind die geologischen Karten. Das Verständnis derselben ist so wichtig, dafs wir es uns nicht versagen können, einige erläuternde Bemerkungen über dieselben hinzuzufügen.

Die geologischen Karten sind stets buntfarbig; jede Farbe bedeutet eine Sedimentablagerung oder ein Eruptivgestein, wobei natürlich die gröfsere oder geringere Specialisierung der Formationsglieder oder der einzelnen Gesteinsarten von dem Mafsstab der Karte abhängt.

Hinsichtlich der Wahl der Farben herrschte bisher viel Willkür, wodurch das Studium der geologischen Karten wesentlich erschwert wurde. Es ist daher mit Freude zu begrüfsen, dafs der internationale Geologenkongrefs zu Bologna im Jahre 1881 eine gewisse Einheit in dieser Beziehung angebahnt hat. Es sollen fortan verwendet werden (und zwar in um so helleren Tönen, je jünger die Stufen sind): Gelb für die känozoischen Formationen, Grün für die Kreideformation, Blau für die Juraformation, Violett für die Trias, Rosa, bez. Karmin vorzugsweise für krystallinische Schiefer. Die Wahl der Farben für die übrigen Sedimente ist zunächst der Kommission für die geologische Übersichtskarte von Europa überlassen worden.

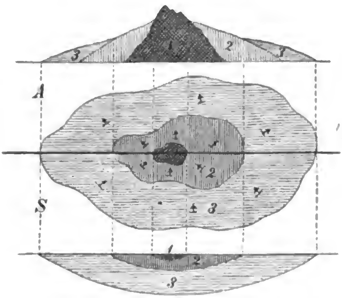
Gebiete aus eruptivem Gestein erhalten gewöhnlich eine scharlachrote, schwarze oder dunkelgrüne Farbe. In diesem Falle belehren uns die geologischen Karten nur über den petrographischen Charakter des Gesteins. Führen hingegen die kartographisch dargestellten Gebiete Versteinerungen, so ist die Farbe stets zugleich ein Symbol der Zeit; sie giebt die geologische Epoche an, in welcher sich dieses oder jenes Gestein im Meere ablagerte, und wir werden so über das Alter der einzelnen Ländergebiete unterrichtet. Mit Hilfe einer geologischen Karte erkennen wir z. B. in Skandinavien sofort ein uraltes, zum gröfseren Teile noch vorsilurischen Zeiten angehörendes Land, in der gegenüber liegenden jütischen Halbinsel hingegen — geologisch gesprochen — ein aufserordentlich junges Gebiet, da es sich erst am Schlusse der Tertiärzeit aus den Tiefen des Meeres erhob.

Auch lassen sich nicht selten die Ufer vorhistorischer Meere aus geologischen Karten direkt ableiten. Fänden wir z. B. auf einer solchen eine und dieselbe Farbe zwischen dem Fufse des Schwarzwaldes und der Vogesen auf der Strecke von Basel bis Bingen, so dürften wir hieraus schliefsen, dafs einstmals ein Meer dieses ganze Becken überflutete. Wäre die Mitte dieses Gebietes noch von einer Farbe erfüllt, welche eine jüngere Ablagerung andeutete, so würde uns dies anzeigen, dafs ein Teil der Oberrheinischen Tiefebene noch länger vom Meere bedeckt war. Es stellen daher, wie hieraus klar hervorgeht, geologische Karten nicht die wirkliche Ausdehnung einer Formation dar, sondern nur die Ausdehnung derjenigen Schichten, welche an der Erdoberfläche zu Tage treten. Wollten wir ihr ganzes Verbreitungsgebiet ermitteln, so müfsten wir uns die auf ihr ruhenden Formationen hinweggenommen denken. Es ist daher in vielen Fällen durchaus nicht einfach, die Räume genau zu begrenzen, über welche sich die Meere in verschiedenen geologischen Zeitaltern erstreckten. Hierzu bedarf es nicht blofs einer guten geologischen Karte, sondern auch der

sorglichen geologischen Durchforschung aller derjenigen Gegenden, wo die betreffende Formation nicht an der Oberfläche erscheint.

Häufig beobachten wir auf geologischen Karten ringförmige Terrainzonen, welche sich, concentrischen Kreisen zu vergleichen, um einen gemeinsamen Mittelpunkt scharen. Eine derartige Schichtenordnung gestattet meist eine doppelte Erklärung, je nachdem man sich die Lage der Schichten als eine antiklinale oder synklinale denkt. Im ersten Falle (Fig. 46, *A*) bezeichnet die Kernmasse die ältesten Bildungen; die Schichten, welche dieselbe umschliefsen, legten sich erst nach ihrer Erhebung mantel- oder gürtelförmig um dieselbe. Bei synklinaler Lagerung der Schichten hingegen (Fig. 46, *S*) ist die Formation in der Mitte die jüngere; sie erscheint als die letzte Ausfüllung eines ursprünglich viel gröfseren Wasserbeckens. Zur Klarstellung dieser Verhältnisse dienen entweder geologische Querprofile, wie bei Fig. 46, oder die konventionellen Zeichen für das Fallen und Streichen der Schichten. Die Neigung derselben gegen die horizontale Ebene wird nämlich von dem Bergmann das Fallen der Schichten genannt. Zur Bestimmung der Fallrichtung hat man zweierlei zu messen: den Grad dieser Neigung (mit Hilfe eines Quadranten), sowie die Himmelsrichtung, nach welcher die Schicht fällt (mittels des Kompafs). Die horizontale Linie, welche rechtwinklig auf die Falllinie in der Schichtenfläche gedacht wird, läfst uns das Streichen der Schichten erkennen. Diese Linie belehrt uns also über die Erstreckung der Schichten in horizontaler Richtung und berechnet sich ganz einfach aus der Fallrichtung, von der sie um 90° abweicht. Hieraus folgt, dafs eine nach Norden fallende Schicht nach Ost-West streichen, eine nach Nord-Süd streichende aber nach Ost oder West fallen mufs, dafs ferner horizontale Schichten kein Streichen haben, während bei vertikal aufgerichteten das Streichen der Richtung der Schichtenflächen gleich ist. Auf den geologischen Karten wird nun das Fallen und Streichen der Schichten durch ein besonderes Zeichen angedeutet. Ein kurzer Strich

Fig. 46.



Antiklinale (*A*) } Lagerung der Schichten.
Synklinale (*S*)

giebt die Streichlinie und ein darauf stehender kurzer Pfeil die Fallrichtung an; genauer verfährt man, wenn man noch die Gröfse des Fallens in Graden daneben schreibt, z. B. ⊥ 35°.

Fehlen derartige Angaben auf einer geologischen Karte, so läfst sich in den meisten Fällen mit Hilfe einer Terrainkarte die ungefähre Lage der Schichten ermitteln. Eine Hebung im Centrum setzt ja eine Aufrichtung der umliegenden Schichten, also eine antiklinale Anordnung derselben voraus. Auf wenig geneigtem oder nach innen zu sich senkendem Terrain darf hingegen meist eine synklinale Lagerung erwartet werden.

Der Gegensatz von antiklinaler und synklinaler Schichtenlagerung innerhalb ringförmiger Zonen wird am besten durch zwei Beispiele illustriert, die bei Betrachtung einer geologischen Karte Frankreichs sofort in die Augen springen. Es handelt sich hier um zwei ringförmige Zonen, welche der Juraformation angehören. Der südliche, ziemlich geschlossene Juraring umgürtet, mit seinen Schichten allseitig abfallend, das granitische Centralplateau Frankreichs; dem entsprechend bildet der Lias eine innere, der Dogger und weifse Jura eine äufsere Zone. Der nördliche Juraring hingegen, der nach dem Kanal hin geöffnet ist und wahrscheinlich mit dem englischen Jura in Verbindung stand, zeigt das umgekehrte Verhältnis: alle Schichten fallen nach innen ein und stellen so eine flache Mulde dar. Die älteren Glieder sind die äufsere Umwallung; die jüngeren Schichten befinden sich im Innern, und das Centrum ist von Kreide- und Tertiärbildungen überdeckt. Hier erlitten also die centralen Teile eine Senkung, worauf sich auf ihnen auch jüngere Formationen ablagern konnten. So deuten die geologischen Karten auch ohne nähere Bezeichnung des Streichens und Fallens der Schichten doch in zahlreichen Fällen deren Lage an.

Wie lehrreich geologische Karten sind, wollen wir noch durch einige Beispiele erläutern.

Flüsse und Ströme verhalten sich niemals gleichgültig gegen das Gestein, über welches sie ihren Weg nehmen: entweder zernagen sie durch längere Zeiträume hindurch den Boden, auf welchem sie sich bewegen, und legen so vielleicht eine oder mehrere Formationsstufen blofs, oder sie zernagen das Terrain zwar eine Zeit lang, vermögen aber infolge der Verminderung des Gefälles den Schutt, welchen sie mit sich führen, nicht weiter zu tragen und füllen deshalb das ausgefurchte Terrain wieder aus. Eine genaue geologische Karte von Süddeutschland gewährt uns Beispiele zu beiden Erscheinungen. So ist der 160 Meter mächtige Lias (schwarze Jura) in Schwaben am Nordfufse der Rauhen Alp vielfach von den Flüssen so tief durchschnitten, dafs die Keuperschichten an der Basis zu Tage treten. Die

Liaslager sind hier also in zahlreiche Fetzen zerrissen worden. Auf der bayrischen Hochebene hingegen haben sich zwar die Flüsse ebenfalls in die miocäne Decke ein Bette eingewühlt, doch die geschaffenen Rinnen hierauf mit Diluvium ausgefüllt. Indem uns die geologischen Karten schmale Bänder teils relativ älteren, teils jüngeren Terrains an den Flufsufern zeigen, geben sie uns ein Bild von der zerstörenden, resp. aufbauenden Thätigkeit der Flüsse in der Vorzeit.

Bemerkenswert ist ferner auch die Thatsache, dafs Flüsse und Ströme oft an den Grenzen der Formationen hinfliefsen, d. h. an den Rändern früherer Meere. So begleitet die Donau unterhalb Regensburg auf eine weite Strecke die Küsten des einstigen Jurameeres. Dieses helveto-germanische Meer, wie man es oft bezeichnet, hatte, nach seinen Ablagerungen zu schliefsen, noch zur Miocänzeit eine ansehnliche Ausdehnung. Als aber gleichzeitig mit dem Aufsteigen der Alpen der alte Meeresboden über den Seespiegel emporgehoben wurde und zwar offenbar durch Kräfte, die im Süden stärker wirkten als im Norden, wurde das Rinnsal, welches die Meteorwasser dieses Gebietes abführen sollte, ganz nach Norden gedrängt. In ähnlicher Weise haben die jüngeren, kräftiger aufstrebenden Gebirge mehrfach die Flüsse von sich weg nach den entgegengesetzten Ufern älterer Meere geschoben.

Selbst für das praktische Leben hat die Kenntnis von der Verbreitung der Formationen, wie wir sie aus der Betrachtung geologischer Karten erlangen, eine hohe Bedeutung. Eine geologische Karte von Italien lehrt uns beispielsweise folgendes: In Italien tritt fast nirgends die Steinkohlenformation zu Tage; vielmehr begegnen wir dort vorwiegend Bildungen aus der Kreide- und Tertiärzeit. Italien war demnach im carbonischen Zeitalter wahrscheinlich völlig vom Meere bedeckt. Daher entbehrt dieses Land der in industrieller Beziehung so hochwichtigen Steinkohle gänzlich; es ist nur im Besitze von (tertiären) Braunkohlen. Die reichsten und mannigfaltigsten Erzlager, insbesondere auch die Fundstätten von Gold, Silber und Platin, gehören den archäischen Formationen an (wir sehen hier davon ab, dafs Gold und Platin auch in Wäschen aus dem Seifengebirge gewonnen werden), und wenn auch hie und da Erzgänge noch in höhere (vornehmlich paläozoische) Schichten empordringen, so verdienen doch eigentlich nur die archäischen Formationen den Namen „Erzgebirge“. Hingegen birgt die Trias die erstaunlichsten Mengen von Steinsalz, welchem Umstande sie ihren früheren Namen „Salzgebirge“ verdankt. So gewähren geologische Karten noch in mannigfacher Hinsicht wertvolle Fingerzeige.

B. Die geologischen Formationen.

1. Die archäische Formationsgruppe.

Überall, wo wir tief genug in das Erdinnere hinabzusteigen vermögen, treffen wir auf mächtige Lager krystallinischer Silicatgesteine. Sie bilden, so weit wir es beurteilen können, die Grundlage, auf welcher die ganze Reihe der Sedimentärformationen ruht, weshalb man sie auch das Urgebirge nennt. Diese Gruppe breitet sich in bewundernswürdiger Gleichförmigkeit wohl über die ganze Erde aus; nur ist sie meist von den jüngeren Formationen überlagert und daher unseren Blicken entzogen. Bis jetzt ist es noch nicht gelungen, irgendwo das untere Ende (das Liegende) dieses an manchen Stellen über 30000 Meter (4 geogr. Meilen) mächtigen Schichtensystems zu erreichen.

Das Urgebirge ist in seinem tieferen Teile vorzugsweise aus Gneisen, Hornblendeschiefern, Quarziten und krystallinischen Kalksteinen zusammengesetzt, in der oberen Hälfte namentlich aus Glimmer-, Chlorit-, Talk- und Thonschiefern. Nach diesen petrographischen Unterschieden zerfällt es naturgemäfs in die laurentische oder Urgneisformation und in die huronische oder krystallinische Schieferformation. Ausgezeichnet sind beide durch ihren Reichtum an Edelsteinen und Erzlagerstätten.

Werden wir nach der Entstehung des Urgebirges befragt, so müssen wir die alte, auch heute noch nicht erledigte Streitfrage berühren, welche sich kurz zusammenfassen läfst in die Worte: Ist das Urgebirge mit seinen mächtigen Lagern aus Gneis und Glimmerschiefer die anfängliche Erstarrungskruste des glutflüssigen Erdballs, oder ist es das Ablagerungsprodukt des ursältesten Meeres? Ist es also aus glutflüssiger Masse auskrystallisiert worden, oder ging es aus einem wässerigen Detritus hervor? Die Entscheidung über diese Frage ist deshalb so schwer, weil jene Gneisbildungen weder mit den Laven unserer Vulkane, noch mit den Niederschlägen unserer Seen und Meere irgend welche Ähnlichkeit haben. Die allgemeine Verbreitung des Gneises und seine Mächtigkeit, sowie der Mangel an Versteinerungen scheinen darauf hinzudeuten, dafs die Gneislager der oberflächlichen Erstarrung des glutflüssigen Erdballes ihren Ursprung verdanken. Doch sprechen für die sedimentäre Entstehungsweise viel gewichtigere Gründe: insbesondere das vorzügliche Parallelgefüge, in welchem uns eine echte Schichtung entgegen tritt, sowie die zahllosen Wechsellagerungen mit den verschiedenartigsten Gesteinen, die ebenfalls eine

wirkliche Schichtung nicht verkennen lassen. Es ist eine alte Erfahrung, dafs sich beim Erkalten einer feurigflüssigen Masse die schwer schmelzbaren Substanzen zuerst ausscheiden, die leicht schmelzbaren hingegen zuletzt. Demgemäfs dürfte man erwarten, dafs unter den Bestandteilen des Gneises zuerst der Quarz, hierauf der Glimmer und zuletzt der Feldspat krystallisierten. Der petrographische Charakter des Gneises beweist jedoch deutlich, dafs der leicht schmelzbare Feldspat den Krystallisationsprozefs einleitete, da ihn der Quarz in unregelmäfsigen, verzerrten Massen umgiebt. Die meisten Geologen stimmen der Ansicht zu, dafs der heutige Gesteinscharakter des Gneises nicht der ursprüngliche war, sondern dafs derselbe, sei es durch die aus dem glutflüssigen Erdinnern aufsteigende Wärme, sei es durch die chemische Wirkung der von oben her eindringenden Atmosphärilien, eine Umwandlung (Metamorphose) erlitten habe, welche dem sedimentären, ehemals klastischen Material seine heutige krystallinische Struktur verlieh. Überdies ist die Annahme einer Metamorphose des Urgebirges nicht unbedingt notwendig. So läfst sich nach Hermann Credner[1]) die Ursprünglichkeit der ältesten Sedimentformationen in folgender Weise rechtfertigen: Als einst der Erstarrungsprozefs auf der glutflüssigen Erdoberfläche begann, war der sämtliche, heute in Kohlen- und Carbonatgesteinen, sowie in organischen Wesen gefesselte Kohlenstoff als Kohlensäure, alles Wasser der heutigen Erdoberfläche und Erdkruste in Gas- und Dampfform in der Atmosphäre unseres Planeten aufgelöst. Die Kondensation der Wasserdämpfe zu Wasser war unter dem Druck einer solchen Atmosphäre bereits unter viel höheren Graden möglich, und so bedeckte sich die Erdoberfläche mit einem Meere von überhitztem Wasser, welches in hohem Grade zersetzend und lösend auf die mineralischen Bestandteile der Erstarrungskruste wirkte. In dem Mafse, in welchem das Wasser erkaltete, verlor es seine Solutionsfähigkeit; die bis dahin in Lösung befindlichen Substanzen schieden sich nach und nach aus und lieferten anfangs das krystallinische Material der Gneis- und Glimmerschiefer, später, je mehr die chemische Bildungsweise durch die mechanische verdrängt wurde, das Material der Urthonschiefer und dann der gewöhnlichen Thonschiefer. Von Wichtigkeit ist, dafs der Krystallisationspunkt der damals aufgelösten Mineralsubstanzen von dem relativen Verhältnisse der gleichzeitig gelösten oder sich in Lösung haltenden Substanzen abhing und demnach beständig wechselte. Dieses inkonstante Verhältnis der gelösten Bestandteile in dem sich abkühlenden Urmeer hatte zugleich einen Wechsel der Gesteinsablagerungen zur Folge; auch war

[1]) Elemente der Geologie. S. 310.

hierdurch die Möglichkeit gegeben, dafs Mineralkörper, die, jeder für sich in reinem Wasser aufgelöst, ganz verschiedene Krystallisationspunkte haben, sich aus einer Mischung ihrer Lösungen gleichzeitig oder in umgekehrter Reihenfolge ausscheiden konnten.

Nur geringe Spuren organischen Lebens sind uns in dieser Formationsgruppe aufbewahrt, und diese sind fast ganz auf die obersten Horizonte beschränkt. Ob jedoch die unteren Schichten wirklich azoisch sind, wie man sie früher stets bezeichnete, darf jetzt bezweifelt werden. Im Jahre 1864 hat der canadische Geolog Logan in laurentischen Kalkschichten eigentümliche, knollige, von Serpentin durchdrungene Massen entdeckt, welchen er organischen Ursprung zuschrieb. v. Hochstetter fand ähnliche Überreste 1865 in dem krystallinischen Kalke des Böhmer Waldes, Gümbel gleichzeitig im Urgebirge des Bayerwaldes; ebenso kommen sie in den laurentischen Schichten Irlands, Skandinaviens, der Pyrenäen und anderer Gebiete vor. Vielfache Untersuchungen führten zu dem Resultate, dafs jene Serpentinballen Reste einer besonders grofsen, Eozoon genannten Foraminifere seien. Doch wird neuerdings der organische Ursprung des Eozoon auf Grund sorgfältiger Untersuchungen von vielen Seiten durchaus bestritten[1]. Auf die Existenz von Pflanzen im laurentischen Zeitalter deutet zwar das Vorkommen von Asphalt und Anthracit innerhalb dieser Formation hin; direkte Zeugnisse hierfür fehlen jedoch

Auch in der huronischen Schieferformation begegnen wir nur spärlichen Resten organischen Lebens; mit Sicherheit sind dieselben bisher nur in den obersten, meist aus Thonschiefern bestehenden Schichten nachgewiesen worden: so die Reste von Fucoiden (Seetange), ferner Anneliden-Spuren, Lingula-Abdrücke und Crinoideen-Stielglieder.

Die Verbreitung der laurentischen Gneisformation ist eine aufserordentlich ausgedehnte. Wahrscheinlich umspannt sie, wenn auch vielfach von anderen Formationen überlagert, den ganzen Erdkreis und tritt daher wohl fast in jedem gröfseren Ländergebiete zu Tage. In Deutschland gehört namentlich ein grofser Teil des Böhmer und Bayrischen Waldes, des Fichtel-, Erz- und Riesengebirges der laurentischen Gneisformation an. Sie bildet ferner die Centralalpen und entfaltet sich am grofsartigsten in Skandinavien und Finnland.

Die huronische Schieferformation erstreckt sich zwar nicht über so weite Räume wie die laurentische (offenbar hatten sich in diesem Zeitalter schon einzelne Länder über den Meeresspiegel erhoben); doch nimmt auch sie grofse Flächen ein. In Europa werden durch

[1] Vgl. Karl Möbius, Der Bau des Eozoon Canadense nach eigenen Untersuchungen verglichen mit dem Bau der Foraminiferen. Kassel 1878.

huronische Schiefer zusammengesetzt Teile der Tiroler, Salzburger, Oberkärntner und Schweizer Alpen, die Ostabhänge des Böhmer und Bayrischen Waldes, der westliche Flügel des Erzgebirges, Teile der Sudeten, sowie von Skandinavien und Schottland.

2. Die paläozoische Formationsgruppe.

Die paläozoische Formationsgruppe erreicht eine Mächtigkeit von mehr als 15000 Metern und besteht vorzugsweise aus Grauwacken, dunklen Thonschiefern, Sandsteinen, Kalksteinen und Conglomeraten. Sie zerfällt in vier selbständige Formationen:

1) die silurische Formation } Übergangsgebirge,
2) die devonische Formation }
3) die carbonische oder Steinkohlenformation,
4) die Dyas oder permische Formation.

Die silurische Formation wurde dem kleinen keltischen Volksstamm der Silurer zu Ehren so benannt, welcher zur Römerzeit diejenigen Teile des heutigen Wales bewohnte, wo Murchison diese Formation besonders vollkommen entwickelt fand und sie zuerst genauer untersuchte. Ihre Mächtigkeit beträgt an manchen Stellen mehr als 6000 Meter. Sie wird vorzugsweise aus Sandsteinen, Thonschiefern und Grauwacken, seltener aus Kalksteinen gebildet und enthält die reichsten Goldlagerstätten der Erde in der Form von goldführenden Quarzgängen (Wales, Ural, Australien), sowie ansehnliche Lager von Eisen-, Kupfer-, Blei- und Zinkerzen.

Die Versteinerungen der Silurformation, welche überall auf Erden eine bemerkenswerte Gleichförmigkeit zeigen, sind fast nur organische Reste von einstigen Meeresbewohnern. Aus dem Mangel an Landpflanzen und Landtieren läfst sich schliefsen, dafs auch in der silurischen Zeit keine gröfseren Ländermassen aus den Tiefen des Oceans emporgestiegen waren. Von Pflanzen aus dieser Periode sind, wenn wir von den nur an wenigen Stellen vorkommenden Landpflanzen (Lepidodendren) absehen, nur Seetange bekannt. Hingegen ist das Tierleben bereits relativ reich entfaltet. In grofser Zahl und Formverschiedenheit begegnen wir den Trilobiten (Dreilapptiere), einer eigentümlichen, jetzt ausgestorbenen Familie krebsartiger Tiere, deren Rückenschild eine deutliche Gliederung in drei Abschnitte wahrnehmen läfst. Man hat in dieser Formation bereits 124 Genera derselben mit über 1600 Arten festgestellt. Auch ist der Individuenreichtum derselben ein überraschend grofser. Unter den mannigfachen Abteilungen der Mollusken erreichen namentlich die Kopffüfsler (Cephalopoden) und die Armfüfsler (Brachiopoden) den Höhepunkt ihrer Entwicklung;

beide sind durch viele Geschlechter vertreten. Von den Cephalopoden sind hervorzuheben die Gattungen Orthoceras (Geradhorn), Cyrtoceras (Krummhorn), Gomphoceras (Keulhorn), Phragmoceras (Bogenhorn), Lituites (Krummstab), von den Brachiopoden die Geschlechter Lingula, Rhynchonella, Obolus, Strophomena, Orthis, Atrypa, Spirifer, Pentamerus. Auch ihre Individuenzahl ist eine enorme. Ein treffliches Leitfossil ist ferner Halysites, die Kettenkoralle; sie bildet mächtige Riffe und war bis nach der Insel Gottland und den russischen Ostseeprovinzen verbreitet. Ebenso zählen die pflanzenähnlichen Crinoideen oder Seelilien, welche ihre armtragenden Kronen auf langen, gegliederten Stielen wiegten oder durch ihre feingetäfelte Schale von kugelförmiger Gestalt den Boden schmückten, zu den charakteristischen Erscheinungen der Silurformation. Die silurischen Schiefer sind ferner bedeckt mit zahlreichen Graptolithen (Schriftsteine), deren plattgedrückte lineare Gestalten an Gras- oder Strohhalme erinnern; bald sind sie geradlinig, bald spiral- oder schraubenförmig aufgerollt. Tiere mit vollkommen verknöcherter Wirbelsäule, also Säugetiere, Vögel, Reptilien, Amphibien fehlen in den unteren Horizonten dieser Formation vollständig; doch fällt das Auftreten der Fische auf dem Schauplatz der Natur in das Ende dieser Periode, was durch Auffindung von Resten haiartiger Knorpelfische (Pteraspis und Onchus) sicher nachgewiesen worden ist.

Die Silurformation nimmt namentlich weite Räume vom nördlichen Rufsland, sowie von Canada und den Vereinigten Staaten ein. Kleinere Silurzonen gehören in Europa dem südlichen Schweden und Norwegen, Wales und Irland, dem mittleren Deutschland, Böhmen und der Bretagne an. Auch tritt sie in allen übrigen Weltteilen auf, selbst in den entlegensten Gebieten der Erde, so in China, im Himalaya, im Kapland, in Bolivia, Australien und Tasmanien.

Die devonische Formation besitzt ebenso wie die silurische einen ganz willkürlich gewählten Namen; sie wird so bezeichnet nach der englischen Grafschaft Devonshire, obwohl sie anderwärts, z. B. in der Eifel und in Belgien, in vollständigerer Weise entwickelt ist. Ihre Mächtigkeit überschreitet hie und da die Gröfse von 3000 Metern. Auch sie besteht, wie die silurische Formation, meist aus thonigen und sandigen, sowie kalkigen Gesteinen, zwischen welche vielfach oolithische, dichte oder kalkige Roteisenerze, sowie Schwefelmetalle flözartig (letztere auch linsenförmig) eingelagert sind.

Ragten in der silurischen Periode nur wenige einsame Felsinseln aus dem weiten Weltmeere empor, so gewannen während der devonischen Periode die Kontinente durch stete Anschwemmungen von Seiten des Meeres wie durch Hebung beständig an Umfang. Daher

blieb das Pflanzenleben nicht blofs auf die Entwicklung einiger Seegewächse, speciell der Fucoiden beschränkt, sondern es erwachte auch auf den Kontinenten, welche sich mit Coniferen, Farnen, Sigillarien und Lepidodendren bedeckten. Immerhin ist deren Entwicklung noch eine relativ dürftige, namentlich wenn wir sie mit der üppigen Entfaltung der Gewächse im carbonischen Zeitalter vergleichen.

Hinsichtlich des Tierlebens giebt sich das devonische Zeitalter als eine Tochter des silurischen sofort zu erkennen. Es herrschen im wesentlichen noch dieselben Klassen, Ordnungen und Familien; nur die Arten sind mittlerweile andere geworden. Manche ältere Gattungen sind erloschen und durch ähnliche ersetzt worden oder die gebliebenen sind nicht mehr im Besitze so vieler Arten wie in der silurischen Zeit. Im allgemeinen scheint der Formenreichtum in der devonischen Periode eine Abschwächung erfahren zu haben. Der jugendlichen Blüte der Tierwelt in der silurischen Vorzeit ist ein greisenhafter Rückgang gefolgt. Zwar kommen auch neue Tierformen zu den älteren hinzu; doch ist die Abnahme derselben immerhin der charakteristische Grundzug. So bereitet das Verschwinden des gröfsten Teiles der Trilobitengeschlechter den nahen Untergang der ganzen Familie vor. Unter den Mollusken sind noch immer die Cephalopoden und Brachiopoden den anderen Geschlechtern überlegen, wenn auch nicht mehr in so auffallender Weise wie im Silur. Die Cephalopoden erhalten in den Geschlechtern Clymenia (nach der Nymphe Clymene) und Goniatites (das letztere ist der Vorläufer der in den mesozoischen Formationen so wichtigen Ammoniten) neue Vertreter. Von den Brachiopoden weist die Gattung Spirifer zahlreiche charakteristische Formen auf, insbesondere langflügelige, in die Breite gezogene Arten, wie Spirifer speciosus u. a. Auch die Geschlechter Orthis und Rhynchonella zeigen mehrere dem Devon ausschliefslich angehörende Arten; das Geschlecht Stringocephalus ist auf das Devon beschränkt. Unter den vielen Korallen ist Calceola sandalina, eine Deckelkoralle, ein ausgezeichnetes Leitfossil. Die Echinodermen (Stachelhäuter) werden fast ausschliefslich durch Crinoideen repräsentiert und zwar durch solche, welche mit langen Armen versehen sind. Die Graptolithen sind gänzlich ausgestorben. Von den Wirbeltieren begegnen wir auch im Devon nur Fischen, diesen aber in grofser Arten- und Individuenzahl, weshalb man das devonische Zeitalter geradezu als das Zeitalter der Fische bezeichnet. Doch fehlen die echten Knochenfische (Teleostei) mit festen Wirbeln, welche jetzt etwa neun Zehntel aller lebenden Fische ausmachen, noch gänzlich. Die von den Tieren abgesonderte Kalksubstanz wurde nicht zur Bildung des inneren Skeletts, sondern zur Herstellung einer panzerartigen Hautbedeckung verwandt. Diese

besteht entweder aus mit Schmelz überzogenen rhombischen oder runden Knochenschuppen oder aus einem vollkommenen Panzer von Knochentafeln. Sie gehören also alle in die Ordnung der Schmelzschupper oder Ganoiden. Zu den ersteren zählen Osteolepis, Holoptychius, zu den letzteren Pterichthys; beide Formen werden vermittelt durch die mit mächtigen Kopfschilden versehenen Cephalaspis und Makropetalichthys. Die Schwanzflossen dieser Fische sind übrigens durchweg ungleichlappig (heterocercal). Das Vorkommen von Flossenstacheln in devonischen Ablagerungen deutet darauf hin, daſs neben den Ganoiden auch haiartige Knorpelfische, deren Erscheinen im oberen Silur bereits erwähnt wurde, die devonischen Meere bevölkerten. Wie die Landtiere überhaupt, so vermissen wir auch in dieser Formation alle höheren Klassen des Tierreichs.

Die Devonformation erstreckt sich über groſse Gebiete Europas und Nordamerikas. Ein breiter devonischer Streifen umsäumt die russische Silurzone im Süden von Kurland bis zum Eismeere. Weiter westwärts begegnen wir isolierten Partien der Devonbildung in Polen, Schlesien, Thüringen, Oberfranken und dem Harze; das gröſste deutsche Devongebiet umfaſst das ganze rheinische Schiefergebirge östlich und westlich des Rheins und reicht bis nach Belgien. In England ist das Devon auf die beiden Halbinseln Cornwall und Wales beschränkt und wird in Schottland durch den Old Red Sandstone ersetzt. In Nordamerika breitet es sich namentlich im Osten über weite Räume aus und begleitet insbesondere bandartig die silurischen Gesteine der Alleghanies. Im allgemeinen war das devonische Meer von geringerer Ausdehnung als das silurische; darum finden sich neben marinen Schichten und Strandbildungen unverkennbare Süſswasserbildungen, z. B. der eine eigentümliche Fischfauna einschlieſsende Old Red Sandstone.

Die carbonische oder Steinkohlenformation, in manchen Gebieten über 7000 Meter mächtig, wird aus Schichtenreihen zusammengesetzt, deren Material Kalksteine, Grauwacken, Sandsteine, Conglomerate, Thonschiefer, Schieferthone und Steinkohlen bilden. Mit den Kohlenflözen vergesellschaftet sind sehr häufig ganze Lager von Kohleneisenstein. Die gleichzeitige Ausbeute von Kohlen und Eisenerz ist in vielen Gegenden (z. B. in dem Becken von Saarbrücken, in Südwales, Staffordshire, Pennsylvanien) die Ursache eines auſserordentlichen Aufschwunges der Eisenindustrie geworden.

Das Pflanzenleben des carbonischen Zeitalters ist im Gegensatz zu dem des devonischen ein ungemein üppiges; wir bewundern neben dem massenhaften Auftreten der Individuen zugleich die riesenhaften Dimensionen der damaligen Gewächse. Trotz alledem ist jedoch die

carbonische Flora im Vergleich zu der Flora der Jetztzeit aufserordentlich formenarm. Es fehlen ihr nämlich alle angiospermen Dikotyledonen; Cycadeen, Coniferen und Palmen sind verhältnismäfsig selten; somit bestand die carbonische Pflanzenwelt fast nur aus Kryptogamen. Diese ganze Flora trägt den Charakter einer tropischen Sumpf- und Morastvegetation an sich; ihr Bereich war demnach das flache Küstenland der carbonischen Kontinente. Die gänzliche Abwesenheit des Seetang oder sonstiger mariner Pflanzen beweist zur Genüge, dafs wir die Steinkohlen nicht als Gebilde des Meeres, etwa als Produkte untergegangener Tangwälder betrachten dürfen, was auch durch die eingebetteten Land- und Süfswassertiere bestätigt wird.

Unter den damaligen Pflanzen erinnern die Farne am meisten an die Flora der Gegenwart. Sie sind um so schwerer von den jetzigen Farnen zu unterscheiden, als gerade das beste systematische Merkmal, die Anordnung der Früchte auf der Unterseite der Blätter, an den fossilen Farnen nur sehr selten wahrgenommen werden kann. Doch sind die Abdrücke von Wedeln und Blättchen häufig vorzüglich erhalten. Die Zahl der europäischen Farnarten betrug in der carbonischen Zeit über 250, während unser Erdteil jetzt nur gegen 60 besitzt. Nach ihrer Nervatur hat man jene fossilen Farne in zahlreiche Geschlechter eingeteilt, von denen in der carbonischen Formation am meisten verbreitet sind: Sphenopteris (Keilwedel), Neuropteris (Nervenwedel), Odontopteris (Zahnwedel), Pecopteris (Kammwedel), Cyclopteris (Kreiswedel). Da sie zum grofsen Teil baumartige Gewächse mit 2 bis 3 Meter langen Wedeln waren und in grofsen Massen auftraten, so trugen sie jedenfalls nicht wenig bei, der carbonischen Landschaft einen eigenartigen Charakter zu verleihen; doch sind sie als Kohlen bildendes Material wegen ihres geringen Holzreichtums nirgends von Bedeutung. Bestehen auch einzelne Kohlenflöze, so bei Zwickau, aus Farnstrünken (Caulopteris), so sind doch im allgemeinen nicht sie, sondern Calamiten, Sigillarien und Lepidodendren als die eigentlichen Kohlenbildner zu betrachten.

Die Calamiten näherten sich hinsichtlich ihrer Gestalt am meisten den Schafthalmen oder Katzenschwänzen (Equisetum). Ihre Schäfte waren längsgefurcht und quergegliedert; statt der Blattscheiden besafsen sie an den Absätzen wirtelförmig gestellte Zweige, welche absatzweise wieder Kränze kleiner Blättchen trugen. Sie erlangten eine Höhe von 10 bis 13 Metern. Nach der Form der kleinen wirtelständigen Blätter unterscheidet man Asterophylliten mit schlanken spitzen Blättern, Sphenophyllen mit umgekehrt keilförmigen und Annularien mit stumpfen, an der Basis verwachsenen Blättern.

Noch reicheres Material für die Kohlenflöze lieferten die Siegel-

bäume oder Sigillarien und die Schuppenbäume oder Lepidodendren. Beide hatten gegen 20, ja selbst 30 Meter hohe, ursprünglich cylindrische Stämme; doch sind diese durch die Schwere der auf ihnen lastenden Lager meist brettartig zusammengepreſst worden. Die Stämme der Sigillarien ragten entweder als einfache oder schwach verzweigte Schäfte, gewaltigen Besen vergleichbar, in die Luft; denn sie waren mit schlanken linearen Blättern besetzt. Diese hinterlieſsen, wenn sie abfielen, groſse, reihenweise geordnete Blattnarben. Da diese für jene Stämme auſserordentlich charakteristischen Blattnarben Siegelabdrücken ähnlich sind, so nannte man diese Bäume Sigillarien. Ihre zahlreichen, vom Stamm nach allen Richtungen hin horizontal sich ausbreitenden Wurzeln hielt man früher für eine besondere Pflanzengattung und bezeichnete sie wegen zahlreicher runder Narben auf der Oberfläche als Stigmarien. Ihre Zugehörigkeit zu den Sigillarien ist jetzt längst erwiesen. Die Lepidodendren waren die Riesen unter den carbonischen Pflanzengestalten; denn sie erreichten, nach den vorhandenen Fragmenten zu schlieſsen. nicht selten einen Umfang von 4 und eine Höhe von mehr als 30 Metern. Auch ihre Stämme waren oberflächlich mit erhabenen rhombischen oder elliptischen Blattnarben bedeckt, welche sich, Schuppen gleich, spiralförmig um den ganzen Stamm zogen. Die zahlreichen Zweige waren ringsum mit langen linearen, den Tannennadeln ähnlichen Blättern versehen und trugen an ihrem Ende groſse kegelförmige Fruchtzapfen. — Neben den Kryptogamen erscheinen, die anderen Gewächse des carbonischen Zeitalters von untergeordneter Bedeutung. Es kamen noch vor: einige Nadelhölzer und zwar Gattungen, welche den heutigen Araucarien verwandt sind, mehrere Arten von Zapfenpalmen (Cycadeen), sowie von echten Palmen, die sich jedoch nicht mit Sicherheit bestimmen lassen. Unzweifelhaft besaſs der carbonische Urwald die traurigste Monotonie, welche wir uns denken können. Er entbehrte völlig des mannigfaltigen Laubschmuckes, sowie des Blütenreichtums unserer tropischen Wälder. Wohin auch das Auge sah, erblickte es nichts als mit dürftigem Blattwerk besetzte Calamiten, säulenförmige Schäfte von Sigillarien, mit formlosen Zweigen und borstigen Blättern ausgestattete Schuppenbäume; mattgrüne Farne und steife Schafthalme überwucherten, Gras und Blumen vertretend, den Boden. Nirgends ertönte der Laut eines Tieres — es gab ja weder Säugetiere noch Vögel; nur schleichende Amphibien, stumme Fische und andere niedere Tiere bevölkerten die sumpfigen, waldreichen Niederungen und ihre Wasserbecken. Fürwahr, ein so eintöniges und ödes Waldgebiet, wie es gegenwärtig in keinem Teile der Erde existiert!

Viele Unsicherheit herrschte früher über die Frage, ob die

carbonischen Wälder an Ort und Stelle in Kohle verwandelt wurden, oder ob die Pflanzen, welche die Kohlenlager bilden, erst durch mächtige Fluten herbeigeführt wurden. O. Heer[1]) hält es recht wohl für möglich, dafs Kohlenflöze von beschränkter Ausdehnung durch herbeigeschwemmtes Treibholz erzeugt worden sind, und weist dabei auf das Mississippidelta im Golf von Mexico hin, wo sich zeitweise so grofse Massen von Baumstämmen anhäufen, dafs sie in einer Mächtigkeit von einigen Klaftern eine Fläche von mehreren Quadratmeilen bedecken. Die Lignitlager von Bovey Tracey in Devonshire verdanken nach Heers Untersuchungen unzweifelhaft einem ähnlichen Vorgange ihre Entstehung; warum sollten nicht auch in der Steinkohlenzeit solche Treibholzansammlungen stattgefunden haben? So mag vielleicht das Material zu den mächtigen, aber über ein relativ kleines Gebiet sich ausbreitenden Flözen von St. Etienne durch gewaltige Fluten herbeigetragen worden sein; doch ist für die meisten Fälle dieser Erklärungsversuch zu verwerfen. Er ist namentlich überall da unstatthaft, wo Kohlenflöze ein Areal von mehreren hundert Quadratmeilen einnehmen, wie in Nordamerika. Nach Ungers Berechnung setzt ein 1 Meter hohes Kohlenflöz eine 8,76 Meter hohe Holzschicht voraus; demnach würde einem Kohlenflöze von 10 Meter Mächtigkeit eine 87,6 Meter hohe Holzschicht entsprechen, also ein eigentlicher Berg von Holz. Erstrecken sich derartige Kohlenflöze über grofse Ländergebiete, so läfst sich unmöglich die massenhafte Aufspeicherung fossiler Stämme aus einer Zusammenschwemmung ableiten. Wären übrigens die Kohlenlager durch Fluten zusammengetrieben, so müfste viel Gerölle, Schutt und Sand in dieselben mit eingebettet sein, wenigstens viel mehr, als dies jetzt der Fall ist. Es ist demnach wahrscheinlich, dafs gröfsere Steinkohlengebiete nur an solchen Stellen entstanden sind, wo das Material wuchs, aus dem sie gebildet sind. Dies wird auch durch die Thatsache bestätigt, dafs die Stigmarien als die Wurzeln meist in dem unteren Teile der Flöze, hingegen Blätter, Zweige und Früchte, also die Kronenteile der Pflanzen, fast immer in dem oberen Teile der Flöze in reicherer Menge auftreten.

Die Schichten der Steinkohlenformation sind häufig muldenförmig gebogen, weshalb man immer von Kohlenbecken oder Kohlenbassins redet. Die einzelnen Flöze sind von sehr verschiedenartiger Mächtigkeit; dieselbe schwankt zwischen wenigen Centimetern und ungefähr 10 Metern. Die Bauwürdigkeit eines Flözes hängt von der Tiefe ab, in welcher es liegt; je gröfser dieselbe ist, desto weniger abbauwürdig ist es unter sonst gleichen Verhältnissen. Befindet sich

[1]) Die Urwelt der Schweiz. Zürich 1865. S. 20 f.

ein Flöz nicht in allzu großer Tiefe, so kann es noch mit Nutzen bearbeitet werden, falls es wenigstens einen Meter mächtig ist. Schwache Flöze können abbauwürdig werden, wenn sie dicht über einander lagern oder wenn sie in einer kohlenarmen Gegend auftreten. An sich abbauwürdige Flöze lassen sich wiederum mit Nutzen nicht ausbeuten, wenn die Bewältigung der Grubenwasser zu viele Kosten verursacht, oder wenn die Kohle von zu geringer Qualität ist. In allzu großen Tiefen hört der Kohlenbergbau auf, insbesondere wegen der hohen Wärmegrade und wegen der Schwierigkeit der Gewölbestützung. In mehr als 1300 Meter Tiefe dürfte er wohl kaum noch möglich sein.

Wie die Mächtigkeit, so wechselt auch die Zahl der Kohlenflöze außerordentlich häufig und zwar nicht nur in verschiedenen Kohlendistrikten, sondern sogar innerhalb verschiedener Regionen eines und desselben Kohlenbassins. Sehr selten ist das Vorkommen nur eines einzigen bauwürdigen Kohlenflözes, wie bei Stockheim in der Oberpfalz. In der Regel begegnet man mehreren etagenweise über einander lagernden Flözen. Das Kohlenbecken des Plauenschen Grundes bei Dresden hat 3 bis 4, das von Zwickau 9 abbauwürdige Kohlenflöze. Doch sind dies immer noch verhältnismäßig wenige; denn oft trifft man sogar 100 und mehr Flöze über einander an. Immerhin bildet die Kohle auch in den reichsten Becken einen relativ unbedeutenden Teil der gesamten Gebirgsmasse. So ist im Newcastler Kohlenrevier in England die ganze Formation 1000 Meter mächtig und umschließt gegen 30 Flöze mit zusammen nur 20 Meter Kohle. Im Saarbrückener Becken zählt man auf dem Durchschnitt von Dudweiler bis Numborn 164 über einander liegende Flöze mit 110 Meter Kohle, während die Mächtigkeit der ganzen Formation 3500 Meter beträgt. Die einzelnen Flöze sind dabei von sehr verschiedener Bedeutung, von den dünnsten Kohlenschnüren angefangen bis zu Flözen von 6 und 10 Meter Mächtigkeit [1]).

Die Wiederholung der Kohlenflöze läßt sich nicht anders als durch Oscillationen jener Gebiete erklären, auf denen die carbonischen Wälder standen. So lange der Boden über dem Meeresspiegel emporragte, war er mit einer üppigen Vegetation bekleidet; hierauf brausten eine Zeit lang Wasser über ihn hinweg, welche den Wald vernichteten und ihn mit Schlamm- und Sandmassen bedeckten. Tauchte das Festland wieder aus dem Ocean empor, so entwickelte sich eine neue Vegetation an derselben Stelle, bis auch diese dem Schicksal ihrer Vorgängerin verfiel. Natürlich beanspruchte dieses Auf- und Abwärts-

[1]) J. Hann, F. v. Hochstetter und A. Pokorny, Allgemeine Erdkunde. Prag 1872. S. 227.

schweben des Bodens aufserordentlich lange Zeiträume; in vielen Fällen mögen die Hebungs- und Senkungsperioden Tausende von Jahren umfafst haben.

Die meisten Kohlenbecken befinden sich am Rande carbonischer Meere, andere am Ufer kontinentaler Seebecken; man bezeichnet erstere als paralische, letztere als limnische Bildungen. Zu jenen, deren Schichten gleichförmig auf Kohlenkalk oder Kulmschichten auflagern, gehören die grofsen Kohlengebiete von Rufsland, Ober- und Niederschlesien, Westfalen, der Rheinprovinz, Belgien, England und Nordamerika, zu diesen die böhmischen und sächsischen Becken, sowie das von Saarbrücken und die im Innern von Frankreich.

Die Richtigkeit der älteren Anschauung, dafs zur Kohlenzeit auf dem ganzen Erdkreis bis über die Polarkreise hinaus ein wärmeres Klima geherrscht habe, bezeugen arktische Kohlenflöze zwischen 70 und 78° n. Br., welche im wesentlichen dieselben Pflanzenformen bergen wie die Kohlenlager in der Äquatorialzone; ihre Entstehung war daher offenbar auch an ähnliche klimatische Vorbedingungen gebunden. Hand in Hand mit der höheren Erwärmung ging eine raschere Verdampfung des Meerwassers, sowie ein reichlicher Niederschlag. Nur ein solches warmes, feuchtes, frostloses Inselklima war im Stande, jene erstaunliche Fülle riesenhafter Gefäfskryptogamen, wie sie das carbonische Zeitalter aufweist, ins Dasein zu rufen. Zu den besonderen Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnissen der carbonischen Atmosphäre gesellte sich als ein drittes ihr eigentümliches Merkmal ihr höherer Kohlensäuregehalt. Wir sind zu dieser Annahme genötigt durch die Erwägung, dafs der gesamte Kohlenstoff der Steinkohlenflöze durch die Thätigkeit der carbonischen Gewächse der damaligen Atmosphäre entzogen wurde. Diese verlor demnach ganz enorme Quantitäten von Kohlensäure und mufste somit vorher noch viel reicher von dieser erfüllt gewesen sein. Wir dürfen, um dies zu begründen, nur anführen, dafs im Saarbecken allein gegen 864 000 Millionen Centner Steinkohlen liegen und dafs in der Entstehungsperiode derselben gleichzeitig viele Milliarden Centner von Kohlenstoff an den verschiedensten Orten der Erde der Luft entzogen wurden, ohne dafs dieselbe ihre Fähigkeit einbüfste, neue Vegetationen zu ernähren.

Die Kohlenflöze gewähren uns ferner ein Mittel, wenigstens einen Minimalwert für die Dauer der Steinkohlenzeit festzustellen. Chevandier hat berechnet, dafs ein kräftiger hundertjähriger Buchenwald, über das von ihm bedeckte Areal ausgebreitet und in Kohle verwandelt, eine 16 Millimeter hohe Schicht zurücklassen würde. Demnach war zur Bildung der 110 Meter mächtigen Saarbrückener Flöze — ganz abgesehen von der Ablagerung des Zwischengesteins — ein Zeitraum

von 687500 Jahren erforderlich. Die gesamte Formation aber beanspruchte zu ihrem Aufbau sicher Millionen von Jahren.

Von weit geringerem Interesse als die carbonische Pflanzenwelt ist die Tierwelt dieses Zeitalters.

Die Trilobiten sind nur noch durch zwei Gattungen (Phillipsia und Griffithides) vertreten und zwar durch wenige unansehnliche Arten. Unter den Mollusken verlieren die Cephalopoden und Brachiopoden an Bedeutung (von ersteren finden sich die Geschlechter Orthoceras, Nautilus und Goniatites, von letzteren Productus, Spirifer und Spirigera); neben ihnen gewinnen die Gastropoden (Schnecken) an Wichtigkeit. Die Korallen besitzen durchweg noch einen paläozoischen Habitus und gehören ausschliefslich den Zoantharia rugosa und tabulata an. Die Crinoideen und zwar sowohl die echten armtragenden wie die Blastoideen (Knospenstrahler, weil auf dem runden, mit Nahrungskanal versehenen Stiele fünfstrahlige Kelche sitzen, deren Form einer aufbrechenden Blumenknospe ähnelt,) erreichen in der Kohlenzeit den Höhepunkt ihrer Entwicklung; die letzteren weisen sogar 40 Arten auf. Ferner zeigen sich die ersten Spuren landbewohnender und luftatmender Tiere; denn man kennt die Flügeldecken von Käfern, die Flügel von Schaben (Blattina aus dem Kohlengebirge von Wettin), Tausendfüfser, ein paar Skorpione und einige Spinnentiere (Protolycosa anthracophila Roem. von Oberschlesien, Kreischeria Wiedei H. B. Gein. von Zwickau, Anthracomartus Völkelianus aus der Grafschaft Glatz u. a.). Die carbonischen Fische sind teils echte Knorpelfische, teils kleinschuppige Schmelzschupper (Ganoiden) mit ungleichen Lappen der Schwanzflossen. Bedeutsam ist das Erscheinen der Amphibien auf der Weltbühne; doch begegnen wir unter ihnen Gestalten, welche der heutigen Tierwelt völlig fremd sind. Bis auf eine Species zählen sie alle zu der Familie der Froschsaurier (Labyrinthodonten). Durch ihre grofsen, konischen, in Zahnhöhlen steckenden Zähne und ihre Schuppenpanzer erinnern sie an die Echsen, während ihre kurzen Rippen und grofsen Gaumenlöcher, sowie der doppelte Hinterhauptsgelenkkopf sie in nähere Beziehungen zu den Batrachiern bringen. Ihre Wirbelsäule ist nur sehr unvollkommen verknöchert und der Schädel mit glänzenden, knöchernen Platten bedeckt. Das letzte Merkmal kommt sonst nur den Knochenfischen zu. Es vereinigen sich also in ihnen Eigentümlichkeiten, die wir jetzt getrennt bei Echsen, Batrachiern und Fischen suchen müssen; derartige Formen bezeichnet man als Kollektivtypen. Ob in diesem Zeitalter schon echte Reptilien lebten, kann nicht mit Sicherheit entschieden werden; gewisse Reste scheinen allerdings von schwimmenden, mit Flossenfüfsen ausgerüsteten Sauriern (Enaliosaurier)

herzurühren. Es würden dies die ersten Vorläufer derjenigen Tiere sein, die schon in der Dyas zu reicherer Entwicklung gelangen sollten.

Unter allen Ländern Europas ist keines durch Ausdehnung und günstige Lage seiner Steinkohlenformation so bevorzugt wie Grofsbritannien. Dieselbe umfafst hier ein Areal von 480 Quadratmeilen und zerfällt in eine Anzahl isolierter Bassins, deren wichtigste die von Südwales, Derbyshire, Yorkshire, Northumberland, Schottland und Irland sind. Auf dem europäischen Kontinent besitzen Belgien und glücklicherweise auch Deutschland ausgedehnte Gebiete des produktiven Steinkohlengebirges. Ein verhältnismäfsig schmaler Streifen zieht sich an dem Nordabhang der Ardennen das Maasthal entlang über Namur nach Aachen, wird dann durch das Rheinthal unterbrochen, taucht aber am Nordrande des westfälischen Devongebirges wieder empor und endet etwa bei Stadtberge. An dem Südwestabhange des Hunsrück liegt das Kohlenbecken von Saarbrücken. Die der produktiven Steinkohlenformation angehörenden isolierten Partien bei Ibbenbüren stehen wahrscheinlich mit dem westfälischen Steinkohlengebirge in unterirdischer Verbindung. Unbedeutend sind die Kohlenterrains von Wettin und Löbejün in der Provinz Sachsen, ansehnlicher in dem Königreich Sachsen das Zwickau-Lugauer Revier und das kleinere Becken des Plauenschen Grundes zwischen Dresden und Tharandt, ferner das niederschlesische Steinkohlengebiet bei Waldenburg und das oberschlesische bei Gleiwitz, welches letztere nach dem westfälischen das wichtigste im Deutschen Reiche ist. Dasselbe setzt sich in südlicher Richtung durch Österreichisch-Schlesien und Mähren bis Brünn fort und nimmt einen Raum von mehr als 100 Quadratmeilen ein. Auch Böhmen besitzt reiche Steinkohlenlager (namentlich bei Pilsen). Frankreich, Spanien und Portugal sind wenig mit Steinkohlen gesegnet; denn es giebt hier nur vereinzelt kleinere Mulden. Dasselbe gilt von den Alpen und von Italien, wo die carbonische Formation auf Toscana und die Insel Sardinien beschränkt ist. In Rufsland erstreckt sich die Kohlenformation zwar über weite Gebiete, ist jedoch zum gröfsten Teile von Perm und Jura überlagert. Am wichtigsten sind hier, wenn wir von dem polnischen Kohlenrevier absehen, welches ein Glied des oberschlesischen ist, die Kohlenbezirke bei Moskau, auf dem Donezplateau, zu beiden Seiten des Ural und am Kaukasus. Im asiatischen Rufsland sind carbonische Schichten am Altai und am Amur mit Sicherheit nachgewiesen. Nach v. Richthofen hat ferner die Kohlenformation in China eine aufserordentliche Verbreitung. Doch treten alle die genannten Gebiete in den Hintergrund gegen die Kohlenformation in Nordamerika. Der produktive Teil zerfällt in das grofse appalachische Kohlenfeld am Westabfall der Alleghanies (2400

Quadratmeilen), in das Illinois- und Missouri-Kohlenfeld (ebenso grofs wie das vorige), in das von Michigan (200 Quadratmeilen), das des nördlichen Texas, das von Rhode-Island (34 Quadratmeilen) und die von Nova Scotia und New-Brunswick (740 Quadratmeilen).

Die permische Formation oder die Dyas trägt den ersten Namen, weil sie sich im Gouvernement Perm in Rufsland über weite Räume ausdehnt; der Name Dyas deutet darauf hin, dafs sie sich da, wo sie typisch entwickelt ist, wie in Deutschland und England, in zwei Hauptglieder zerlegen läfst: in das Rotliegende und den Zechstein; doch ist in vielen dyassischen Gebieten diese Trennung nicht scharf durchzuführen. Die untere Abteilung, das Rotliegende (der Lower New Red Sandstone der Engländer), wird hauptsächlich aus rotem Sandstein und Conglomeraten gebildet und enthält fast nur organische Reste von Landpflanzen; die obere Abteilung hingegen, der Zechstein (der Magnesian Limestone der Engländer), besteht meist aus schwarzem, bituminösem, kupferreichem Schiefer, sowie aus grauem, unreinem, marinem Kalkstein und schliefst nur Meerestiere ein. In Deutschland, insbesondere in Thüringen und am Harze (bei Mansfeld), und ebenso in Rufsland ist die Dyas reich an Kupfererzen und nächstdem auch an Gips und Steinsalz.

Wo, wie in Böhmen, Sachsen und anderwärts, die Dyas nur als Rotliegendes auftritt, ist sie, analog den limnischen Steinkohlenbecken, eine Süfswasserbildung. Wo hingegen, wie in Thüringen und in England, beide Abteilungen vereint vorkommen, ist das Rotliegende eine paralische Strandbildung, auf welcher sich später nach fortgesetzter Senkung des Bodens der Zechstein als Meeresprodukt ablagerte.

Flora und Fauna entfalten in der Dyas nicht jene frische Lebenskraft wie in den früheren Formationen; sie erscheinen vergleichsweise armselig. Doch fehlt es nicht an charakteristischen Typen.

Die dyassische Flora schliefst sich eng an die carbonische an. Lepidodendren und Sigillarien sind jedoch schon fast ganz verschwunden, woraus sich zugleich das seltenere Auftreten und die geringere Mächtigkeit der Kohlenlager erklärt. Dagegen sind die Calamiten (mit dem sehr charakteristischen C. gigas Brong.) und zum Teil baumhohen Farne (Sphenopteris, Neuropteris, Odontopteris u. a.) noch in üppiger Entwicklung und weisen zahlreiche Arten auf. Neben den Strünken riesiger Baumfarne (Psaronius) begegnet man Coniferen-Stammstücken von mehr als einem Meter Durchmesser. Aufserordentlich weit verbreitet sind ferner die Walchien, eine Mittelform zwischen Lykopodiaceen und Coniferen. Nur selten wurden die Coniferen-Stämme aus der Dyas in Steinkohle verwandelt; häufiger wurden sie von Kieselsäure durchdrungen und völlig versteinert. Dieselben sind oft auf

kleinem Raum in so reicher Menge vorhanden, daſs man wohl gar von versteinerten Wäldern spricht. Der bekannteste derselben liegt bei Radowenz unweit Adersbach in Böhmen.

Auch die Fauna der Dyas besteht fast nur aus dürftigen Überresten des carbonischen Zeitalters und ist fast ganz auf die marinen Gebilde beschränkt. Die Trilobiten sterben aus, und damit verschwindet diese merkwürdige Crustaceenordnung für immer von dem Schauplatz der Natur. Unter den Mollusken spielen die Cephalopoden und Gastropoden eine ganz untergeordnete Rolle; hingegen zeigen die Brachiopodengeschlechter Productus, Spirifer, Strophalosia und Strophomena eine überaus groſse Individuenzahl. Die Korallen gehören noch zu den paläozoischen Formen (Zoantharia tabulata). Die Fische sind meist Schmelzschupper mit unsymmetrischen Schwanzflossen (heterocercale Ganoiden); wichtig sind namentlich die Geschlechter Palaeoniscus und Platysomus. Zu den Froschsauriern zählt der durch einen glänzenden, rauhen, knöchernen Schädel, kräftige, kegelförmige Fangzähne und geschuppten Körper ausgezeichnete Archegosaurus. In den Lebacher Schiefern, welche die Saarbrückener Kohlenformation überlagern, kommt derselbe überaus häufig vor. Den Gipfelpunkt ihrer Entwicklung erreicht die dyassische Tierwelt in einem echten Reptil, einer dem ägyptischen Monitor in Gröſse und Gestalt nahestehenden Landeidechse, deren Reste in der englischen und deutschen Dyas (z. B. bei Mansfeld) gefunden werden und die den Namen Proterosaurus führt.

In dem dyassischen Zeitalter tauchten ansehnliche Gebiete der nördlichen Halbkugel aus dem Meere empor; denn die marinen Gebilde in Centralruſsland, namentlich in den Gouvernements Perm, Orenburg, Kasan und Nischnii Nowgorod längs der Westseite des Ural umfassen allein ein Gebiet von 18000 Quadratmeilen. Viel kleinere Räume bedecken die dyassischen Gebilde am Harze, in Thüringen, im Königreich Sachsen (Chemnitz, Zwickau), am Nordabhang des Riesengebirges, in Böhmen, am Südwestrande des Fichtelgebirges und des Böhmer Waldes, an der Südseite des Hunsrück, sowie in dem nördlichen Teile von England. In Nordamerika tritt die permische Formation nur in dem westlichen Teile des Kontinents zu Tage; sie zieht sich als ein verhältnismäſsig schmaler Streifen am östlichen Fuſse des Felsengebirges durch die Staaten Texas, Kansas und Nebraska.

Am Ende der paläozoischen Periode erfolgte eine tief greifende Veränderung des bisherigen organischen Lebens; die meisten Tier- und Pflanzenformen erloschen, und es erstand eine neue, formenreichere, höher organisierte Welt. Mit ihrem Erscheinen beginnt eine neue, die mesozoische Ära.

3. Die mesozoische Formationsgruppe.

Dürfen wir die paläozoische Gruppe als das Altertum in der Entwicklungsgeschichte des organischen Lebens betrachten, so haben wir es hier gewissermafsen mit dem Mittelalter zu thun. Dasselbe umschliefst die drei sogenannten sekundären Formationen: die Trias, die Jura- und Kreideformation.

Als charakteristische Merkmale der organischen Welt heben wir hervor: Die paläozoischen Dschungeln von Calamiten, Sigillarien und Lepidodendren sind für immer verschwunden, und an ihrer Stelle breiten sich Waldungen von tropischen und später von subtropischen Coniferen aus, zwischen denen mächtige Farne und riesige Equisetaceen (Schachtelhalme) üppig wuchern. Die Cycadeen (Zapfenpalmen) entfalten sich in diesem Zeitalter reicher als in jedem anderen; auch treten die ersten Repräsentanten der späterhin zur ausgedehntesten Herrschaft gelangenden dikotyledonischen Laubhölzer auf.

Ebenso erfuhr das Tierleben eine bedeutende Umgestaltung. Die Trilobiten werden ersetzt durch langschwänzige Krebse (Macruren), sowie durch die ersten Krabben (Brachyuren). Unter den Mollusken gewinnen die Cephalopoden eine hervorragende Bedeutung in den Ceratiten, Ammoniten (Ammonshörner) und Belemniten (Donnerkeile). Erst jetzt erscheinen die riffbauenden Korallen (Zoantharia perforata und eporosa), sowie die echten Echiniden (Seeigel), welche von nun an nicht wieder verschwinden. Die heterocercalen Ganoiden sterben allmählich aus, um homocercalen Ganoiden (Schmelzschupper mit symmetrischen, also gleichlappigen Schwanzflossen) Platz zu machen; auch finden sich hier die ersten echten Haie, sowie die ersten wahren Knochenfische mit festen Wirbeln. Die letztgenannten Tiere sind gewissermafsen die Vorläufer der Typen, welche die heutige Fischwelt bilden; denn etwa neun Zehntel aller lebenden Fische zählen zu ihnen. Gleich sehr durch ihre riesenhafte Gestalt wie durch häufiges Vorkommen ausgezeichnet sind die Reptilien und unter ihnen speciell die Saurier. Auch zeigen sich in diesen Formationen bereits Spuren von Vögeln, sowie von Säugetieren aus der Ordnung der Beuteltiere.

Eigentümlich sind der mesozoischen Tierwelt zahlreiche Kollektivtypen (Mischformen). Viele Tiere haben nämlich Eigenschaften, welche sich später niemals in einer Tiergestalt vereinigen, sondern auf verschiedene Gattungen, ja selbst Ordnungen und Klassen verteilt sind. Zu diesen Tieren gehören z. B. Mastodonsaurus (mit Frosch- und Sauriermerkmalen), Ichthyosaurus (mit Saurier- und Fischmerkmalen), Dinosaurus (mit Eidechsen-, Krokodil-, Vögel- und Säugetiermerkmalen), Archaeopteryx (mit Vogel- und Reptilmerkmalen) u. a. Diese Formen tragen zwar das Gepräge der Unfertigkeit an sich; zugleich

aber verraten sie eine gewisse jugendliche Kraft und Entwicklungsfähigkeit und weisen darauf hin, dafs aus ihnen durch Teilung später neue Gestalten entstehen sollten.

Die Trias hat ihren Namen von den drei durch petrographische und teilweise auch durch paläontologische Eigentümlichkeiten scharf von einander geschiedenen Formationsgliedern, welche von unten nach oben die Namen: bunter Sandstein, Muschelkalk und Keuper führen. Vor allem hat Süd- und Mitteldeutschland eine wahre Trias; in England, Südfrankreich, Spanien und Rufsland fehlt fast überall das eine oder das andere Glied; sie ist hier also streng genommen nur eine Dyas. Ihre Mächtigkeit schwankt zwischen 1000 und 3000 Metern.

Die unterste Abteilung ist, wie dies der Name andeutet, vorwaltend aus sehr verschiedenartig gefärbten Sandsteinen zusammengesetzt und enthält nur wenige organische Reste. Als charakteristische Formen sind hervorzuheben: Equisetum arenaceum Brong., das älteste echte Equisetum, einige Farne (wie Anomopteris Mougeoti Schimp. und Caulopteris Voltzi Schimp.) und die Voltzien (unter die Coniferen gehörend und den Cypressen ähnlich). Bei Hildburghausen, Coburg und anderwärts giebt es in den oberen Horizonten des Buntsandsteins Schichtflächen, welche mit fünfzehigen Fufsspuren bedeckt sind. Man schreibt dieselben einem Froschsaurier von gewaltigen Dimensionen zu und hat diesen wegen der Ähnlichkeit jener Fufstapfen mit dem Abdruck einer Hand Chirotherium genannt. Ebenso lassen sich oft weithin die Spuren von zweibeinigen Geschöpfen mit dreizehigen Füfsen verfolgen, welche jedenfalls von Vögeln herrühren. Die Gröfse derselben mufs in einzelnen Fällen eine ungeheure gewesen sein, da ihre Zehenabdrücke bisweilen 20 Centimeter lang und $1\frac{1}{2}$ bis 2 Meter weit von einander entfernt sind.

Die zweite Abteilung der Trias, der Muschelkalk, ist im wesentlichen aus unreinem, dunkelgrauem Kalk gebildet, daneben auch aus thonigen Mergeln, Dolomit, Gips und Steinsalz. Da der Muschelkalk marinen Ursprungs ist, so birgt er nur sehr wenige Spuren von Pflanzen, dafür aber um so zahlreichere Überreste von Seetieren, z. B. von Crinoideen (Encrinus liliiformis, Seelilie), Brachiopoden (Terebratula vulgaris), Zweischalern (Ostrea placunoides, Lima striata), Gastropoden (Dentalium laeve), Cephalopoden (Ceratites nodosus) etc. Korallen fehlen gänzlich. Bemerkenswert ist noch das Vorkommen langschwänziger Krebse (Pemphix), mehrerer Fische, sowie einiger Meersaurier. Ist auch die Muschelkalkfauna reich an Individuen, so entbehrt sie doch aller Mannigfaltigkeit.

Die dritte Abteilung der Trias, der Keuper, besteht vornehmlich aus bunten Mergeln, zu denen sich häufig noch Buntsandsteine, Gips

und Steinsalz gesellen. Die Keuperperiode besafs kein reiches organisches Leben. Der Keuper enthält schenkeldicke Schachtelhalme (Equisetum arenaceum, E. columnare), welche jedoch gleich den Farnen an Wichtigkeit verlieren. Dagegen gewinnen die Cycadeen eine gröfsere Bedeutung und ebenso die Coniferen, deren wichtigste Vertreter noch immer die Voltzien sind. Die tierischen Reste sind im Keuper sehr spärlich vorhanden; nur hie und da begegnet man gröfseren Ansammlungen von Fisch-, Labyrinthodonten- und Saurierresten. Eine Ausnahme macht der oberste Keuper; er ist so sehr von Fischschuppen, Flossenstacheln, Gräten, Reptilienknochen und Excrementen erfüllt, dafs man ihn als Knochenbett (Bonebed) bezeichnet. In diesem sind uns auch (und zwar in Württemberg) die ältesten Reste von Säugetieren aufbewahrt, nämlich kleine, zweiwurzelige Zähne, welche wahrscheinlich von einem Beuteltiere (Mikrolestes antiquus) stammen.

Gewährt die Trias dem Paläontologen nur eine mäfsige Ausbeute, so ist sie doch von um so höherem national-ökonomischen Werte, da sie nicht blofs einen trefflichen Wald- und Feldboden abgiebt, sondern auch die reichsten Lager von Steinsalz umschliefst, weshalb man sie früher geradezu „Salzgebirge" genannt hat. Zwar finden sich grofse Salzlager auch in anderen Formationen, so im Silur (Nordamerika), in der Kreideformation (Peru), im Tertiär (Wieliczka), doch bei weitem nicht so häufig wie in der Trias. So liegen die berühmten Salzlager von Stafsfurt und Schönebeck unter einer Decke von buntem Sandstein, die Lager in der nördlichen Schweiz, in Baden, Schwaben, Franken, Brandenburg (Sperenberg) und Holstein (Segeberg) im Muschelkalk, die englischen Salzlager bei Liverpool und die lothringischen bei Château Salins im Keuper.

In Deutschland breitet sich die Trias an der Westseite der Vogesen in Lothringen und an der Ostseite des Schwarzwaldes und Odenwaldes in Schwaben aus und erstreckt sich durch Spessart und Rhön nach dem Reg.-Bezirk Kassel und Thüringen. Dort bedeckt sie den weiten Raum zwischen dem rheinischen Schiefergebirge, dem Harze, dem Vogtlande und dem Thüringer Walde. Ferner besitzt auch Oberschlesien triassische Distrikte. In Deutschland bietet zwar das Buntsandsteingebiet dem auf der Hochfläche weilenden Beobachter keinerlei Abwechslung dar, sondern zeigt ihm nur langgezogene, einförmige Gebirgslinien; aber es birgt in seinem Innern infolge der starken Zerklüftung herrliche Landschaften: steil abstürzende Felsen und eine chaotische Zertrümmerung der Massen; dazu trägt es den herrlichsten Tannen- und Buchenwald. Das fruchtbarere Gebiet des Muschelkalkes hingegen verscheucht den Wald. Weithin erblickt hier das Auge wogende Kornfelder; nur die höheren Teile werden als

Weideland benützt, und kleinere Waldungen krönen die Gipfel der Berge. Auch hier beschränken sich die landschaftlichen Reize auf die Thäler. Der Keuper endlich, ausgezeichnet durch ein reich bewegtes Relief, wie durch die bunten, grellen Farben der Mergel, bildet den fruchtbaren Boden für die schwäbischen und lothringischen Weinberge und für die Hopfengärten Mittelfrankens.

In den Alpen ist die Trias in petrographischer wie paläontologischer Hinsicht eigentümlich entwickelt. Bemerkenswert sind namentlich die aufserordentlich komplizierten Lagerungsverhältnisse und das vereinigte Vorkommen echt paläozoischer und verfrüht erscheinender mesozoischer Organismen. In England nimmt die Trias, eine bandförmige Zone darstellend, ein ansehnliches Terrain ein; doch fehlt ihr hier das Mittelglied, der Muschelkalk. In Nordamerika tritt die triassische New Red Sandstone-Formation an zahlreichen Stellen der atlantischen Küstenebene auf und begleitet den Ostabfall der Rocky-Mountains vom Oberen See bis Texas; ihre Thonletten bewirken die Färbung zahlreicher Flüsse, so des Rio Colorado, des Red River, der Rivière Rouge u. a.

Die Juraformation ist nach dem Schweizer Jura benannt worden, weil sie den geologischen Bau desselben vollständig beherrscht und hier zuerst richtig erkannt worden ist. Sie ist bis 1000 Meter mächtig und wird hauptsächlich zusammengesetzt aus Kalksteinen, Mergeln, Sandsteinen, Schieferthonen und plastischen Thonen. In den mittleren Horizonten des Jurasystems bestehen die gelblich-weifsen Kalksteine häufig aus lauter winzigen, Fischeiern ähnlichen Körnchen, weshalb man diese als Baumaterial sehr gesuchten Gesteine Rogensteine oder Oolithe, die ganze Formation aber „Oolithenformation“ genannt hat. Schon L. v. Buch hat dieselbe nach der Verschiedenartigkeit des paläontologischen Habitus in drei Teile zerlegt und ihnen nach der Farbe des vorherrschenden Gesteins die Namen schwarzer Jura, brauner Jura und weifser Jura gegeben, wofür man wohl auch die Namen Lias, Dogger und Malm braucht. Diese zerfallen wiederum in zahlreiche Unterabteilungen. Es handelt sich natürlich hier nur darum, das organische Leben des jurassischen Zeitalters im allgemeinen zu charakterisieren.

Längst verschwunden sind in dieser Periode die Dickichte der Lepidodendren, Sigillarien und Calamiten, und an ihrer Stelle breiten sich weite Wälder von echten Nadelhölzern aus, unter welche sich nicht selten Cycadeen mischen. Farne und Schachtelhalme (Equiseten) bedecken den Boden der Waldungen. Die früher so überaus wichtigen Kryptogamen sind im allgemeinen durch die höher organisierten

Gymnospermen zurückgedrängt worden; das Pflanzenleben hat sich also unverkennbar zu einer höheren Entwicklungsstufe erhoben.

Noch viel mehr gilt dies von der Fauna; denn die Juraformation zeigt einen ganz überraschenden Formenreichtum. Viele völlig neue Gestalten erscheinen auf dem Schauplatze der Natur, Gestalten, welche denen der Gegenwart zwar immer noch als Fremdlinge gegenüber stehen, aber doch nicht mehr in dem Grade wie die des paläozoischen Zeitalters. Unter den Mollusken erlangen die beiden Cephalopodengeschlechter Ammonites (Ammonshörner) und Belemnites (im Volksmunde als „Teufelsfinger“ bezeichnet) nicht blofs durch ihre enorme Individuenzahl, sondern auch durch die Menge der Species, von denen viele nur einem gewissen Horizonte der Formation angehören, eine aufserordentliche Bedeutung. Ferner finden sich in grofser Anzahl die Gastropoden (Schnecken) — unter diesen besonders die Gattungen Pleurotomaria und Nerinea in den mittel-, resp. oberjurassischen Horizonten — und die Brachiopoden (namentlich die Genera Terebratula und Rhynchonella). Nicht minder reichlich sind die Zweischaler vertreten durch Trigonia, Mytilus, Avicula, Pecten. In manchen Schichten sind ganze Austerbänke begraben; so ist namentlich im unteren Lias Gryphaea in ungewöhnlichen Massen vorhanden. Die Korallen unterscheiden sich zwar noch durch gewisse Merkmale von den jetzt lebenden; doch besitzt ihre ganze Tracht, sowie die Art ihres Vorkommens so wenig Eigentümliches, dafs der Totalcharakter ihrer Bauten wahrscheinlich mit dem der heutigen Atolle und Korallenriffe völlig übereinstimmte. Seeschwämme und Seeigel sind sehr häufig. Die Fische haben das charakteristische Kennzeichen früherer Zeitalter, die ungleichen Schwanzflossen, verloren. Doch bilden sie zu den Fischen der Gegenwart noch immer insofern einen scharfen Gegensatz, als sie Schmelzschupper (Ganoiden) und Knorpelfische sind; höchstens kann man die wenig ansehnlichen Gattungen Leptolepis, Thrissops und Aethalion als die ersten Repräsentanten der echten Knochenfische betrachten. Die imposantesten Meerestiere der Juraformation sind ohne Zweifel zwei Saurier: der Ichthyosaurus und Plesiosaurus, welche beide offenbar Meeresbewohner waren. Die Gestalt des ersteren ist der eines Delphins ähnlich. Sein Kopf endet in einer langen, geraden und zugespitzten Schnauze, und der Rachen ist mit derben, spitzen Zähnen bewaffnet, welche in einer gemeinsamen Rinne befestigt sind. Die Gehirnhöhle ist sehr klein; dagegen sind die von gegliederten Knochenringen umgebenen Augen von enormer Gröfse. Die Wirbelsäule besteht aus gegen 150 Wirbeln. Zahlreiche Rippen umschliefsen den umfangreichen Bauch; doch sind sie nicht an das Brustbein geheftet, sondern durch dünne Bauchrippen förmlich zu einem korbähnlichen

Geflechte verbunden. Hinter dem Becken folgt ein aufserordentlich langer Schwanz mit 80 und mehr Wirbeln. Die Form der Ruderfüfse erinnert lebhaft an die Flossen der Wale. Da von Hautschildern oder Schuppen niemals eine Spur entdeckt worden ist, so dürfen wir annehmen, dafs die Haut des Ichthyosaurus nackt war. Er nährte sich meist von Fischen, wie uns die versteinerten Excremente (Koprolithen) bezeugen. Die Längendimensionen dieses riesigen Tieres variieren zwischen 3 und 13 Metern. — Der Plesiosaurus unterscheidet sich von dem Ichthyosaurus besonders durch seinen kleinen Kopf, den schlangenartigen Hals (mit 20 bis 40 Wirbeln, während doch Giraffe und Schwan, die langhalsigsten Tiere der Gegenwart, nur 7, resp. 23 Halswirbel haben,) und den kurzen Schwanz. Seine Länge beträgt 3 bis 5 Meter. Beide Tiere sind Kollektivtypen; denn sie vereinen in sich den krokodilartigen Kopf mit der Wirbelsäule und den Ruderfüfsen der Fische. Die Hauptfundorte der beiden gewaltigen Meeressaurier sind Lyme Regis (an der Küste von Dorsetshire in England), Boll in Württemberg und Banz bei Bamberg.

Wie die Seetiere, so erfahren auch die Land- und Süfswassertiere in der Jurazeit eine Umgestaltung und Bereicherung. Zum ersten Male begegnen wir Flufs- und Sumpfschildkröten. Der Teleosaurus, Geosaurus und Mystriosaurus zeigen eine grofse Verwandtschaft mit dem Gangeskrokodil (Gavial); dagegen besitzen die Flugsaurier (Pterodactylus und Rhamphorhynchus) die abenteuerlichsten Formen. Es sind Echsen, deren Kopf und langer Hals eine gewisse Ähnlichkeit mit dem eines Wasservogels hat und die mit Hilfe einer nackten, fein gefältelten Flughaut, welche von dem ungeheuer verlängerten äufseren Finger der Vorderfüfse bis an die Wurzel der kurzen Hinterfüfse reichte, eine flatternde Bewegung ausführen konnten. Sie vermitteln den Übergang zu den Vögeln, deren ältester Vertreter, der Archaeopteryx, ebenfalls dem Jura angehört. Ein Skelett dieses Vogels wurde im Jahre 1861 in dem lithographischen Schiefer von Solnhofen aufgefunden. Der Archaeopteryx nähert sich durch den Bau seines Schwanzes und Beckens den fliegenden Sauriern; im übrigen aber trägt er unverkennbare Merkmale eines Vogels an sich. Sein Gefieder ist zum Teil noch trefflich erhalten. Überreste von Säugetieren sind bisher im englischen Dogger und Malm (zuerst bei Stonesfield, dann auch anderwärts) entdeckt worden; alle sicher bestimmbaren Formen gehören in die Ordnung der Beuteltiere.

In Deutschland beherrscht die Juraformation drei gröfsere Territorien: das schwäbisch-fränkische, das des nordwestlichen Deutschlands und das von Oberschlesien. Das erste dieser Gebiete umfafst den schwäbischen und fränkischen Jura; es stellt demnach einen Winkel

dar, dessen Scheitel in der Gegend von Regensburg liegt. Der südliche Schenkel streicht an dem Nordufer der Donau von Südwest nach Nordost, der nördliche hingegen am östlichen Ufer der Altmühl und Regnitz von Südsüdost nach Nordnordwest. Hier sind die drei Hauptabteilungen des Jura leicht von einander zu trennen, zumal sie auch in orographischer Beziehung eine sehr verschiedene Rolle spielen. Der Lias breitet sich nach L. v. Buchs bezeichnenden Worten „wie ein Teppich“ vor den rasch ansteigenden, höheren und jüngeren Juraschichten aus und ist von den Flufsläufen so durchfurcht, dafs die Keuperschichten, auf denen er ruht, an der Thalsohle oft blofsgelegt werden. Der Dogger, eine ungleich schmalere Zone, bildet, oft mehr oder weniger steile Abhänge darbietend, die wald- und wiesenreichen Vorhöhen der Rauhen Alp, während sich der Malm mit seinen steilen, weithin leuchtenden Felswänden mauerartig am Nordrande erhebt, um sich weithin zu einem wasserarmen, kahlen Plateau auszudehnen und nach Süden zu den Ufern der Donau allmählich herabzusteigen. — Das norddeutsche Juragebiet erstreckt sich von der holländischen Grenze bis in die Gegend von Halberstadt; doch wird es im Norden von Diluvialbildungen überlagert und tritt nur an seinem Südrande, d. i. an dem Südsaum der norddeutschen Tiefebene, als eine schmale Zone zu Tage. Es bildet das Wiehengebirge und den Süntel und ist weiter südostwärts (bei Göttingen, Eisenach, Gotha) angedeutet durch isolierte Schollen. Meist bestehen die Höhenrücken aus weifsem Jura, während Dogger und Lias dieselben nur umsäumen. — Das dritte deutsche Juraterrain begleitet die preufsisch-polnische Grenze von Krakau bis Czenstochau und greift tief in polnisches Gebiet hinein. Ihm fehlt der Lias.

In Rufsland bedeckt die Juraformation ansehnliche Räume des paläozoischen Bassins von Moskau und nimmt in der Krim und am Kaukasus Anteil an der Gebirgsbildung. In England reicht sie als ein breiter Streifen von Portland am Kanal über Bath und Oxford nach Norden bis Whitby nördlich der Trentmündung und entwickelt hier alle drei Hauptglieder. In Frankreich beschreibt die Juraformation zwei Ringzonen, von denen die nördliche gegen den Kanal hin geöffnet ist, die südliche aber das granitische Centralplateau Frankreichs umgürtet. Im Schweizer Jura sind die jurassischen Schichten zu einer Anzahl von Parallelketten gefaltet. Auch an dem Aufbau des Alpensystems ist die Juraformation wesentlich beteiligt; denn sie umrahmt im Süden, Westen und Norden bandartig den krystallinischen centralen Teil dieses Hochgebirges. Ferner wurden jurassische Schichten in Sibirien, Vorderindien, Chile und am Ostrande der Rocky-Mountains nachgewiesen.

Die Kreideformation verdankt ihren Namen dem zufälligen Umstande, daſs sie in Nordfrankreich und England, wo sie zuerst genauer untersucht wurde, als wesentlichen und charakteristischen Bestandteil weiſse Kreide (Schreibkreide) enthält. Es hat sich nämlich später gezeigt, daſs gerade diese Formation ein auſserordentlich mannigfaltiges Gesteinsmaterial besitzt. In reichstem Maſse sind die Quadersandsteine vorhanden, weshalb man sie wohl auch als Quaderformation bezeichnet. Wiederholt treten lose Quarzsande und Grünsandsteine (glaukonitische Sandsteine) an die Stelle des Quaders. Ferner finden sich mergelige Kalksteine und Mergel mit ihren Varietäten (Glaukonitmergel, Pläner, Kreide- und Flammenmergel), reine Kalksteine, verschiedene Varietäten der Schreibkreide, welche übrigens nur auf die obersten Horizonte der Kreideformation beschränkt ist, sowie Thone und Schieferthone. Auſserdem birgt die Kreideformation nicht unwichtige Lager von Steinkohlen (in Nordwestdeutschland die Wealdenkohle) und Eisenerzen.

Nach dem verschiedenen paläontologischen Charakter, welcher den einzelnen Horizonten der Kreidezeit zukommt, zerlegt man sie nach dem Vorgange d'Orbignys, der sie zuerst in Frankreich genauer erforschte, in fünf Abteilungen, nämlich (von unten nach oben) in Neocom (nebst dem Wealden), Gault, Cenoman, Turon, Senon.

Da die Kreideformation vorwiegend aus marinen Schichten gebildet ist, so sind Pflanzenüberreste in derselben ziemlich selten; nur an den ehemaligen Küsten begegnet man eingeschwemmten Landpflanzen und bisweilen sogar kleineren Kohlenlagern. In der unteren Abteilung der Kreideformation sind die Geschlechter der Farne, Cycadeen und Coniferen dieselben wie im Jura. In der Mitte dieses Zeitalters aber, im Cenoman, tauchen — ein wichtiger Fortschritt in der Entwicklung des Pflanzenlebens — zum ersten Male immergrüne dikotyledonische Laubhölzer auf, während die Farne, sowie die Cycadeen und die rein tropischen Formen der Coniferen an Bedeutung auſserordentlich verlieren, zumal jene Laubbäume sofort in gewaltiger Menge erscheinen und der cretacëischen Flora einen ganz anderen Gesamtcharakter verleihen. Zu den Laubbäumen der oberen Kreidezeit gehören insbesondere immergrüne Eichen, Feigen, Taxus und Proteaceen, von denen die letzteren jetzt im Kaplande und Australien am besten gedeihen. Da sich die genannten Pflanzen, denen sich noch mehrere Fächerpalmen und Pandanen zugesellen, ziemlich weit polwärts verbreiteten, so ist wohl, was namentlich Heers Untersuchungen über die cretacëische Flora Grönlands und Spitzbergens bestätigen, die Annahme gerechtfertigt, daſs zur Kreidezeit wenn auch kein tropisches, so doch ein subtropisches Klima bis zu den Polargebieten herrschte.

Überaus reich ist die Kreideformation an tierischen Fossilien. Die Foraminiferen treten in ungeheurer Menge auf und machen einen wesentlichen Bestandteil der weifsen Schreibkreide, wie überhaupt der obersten Horizonte dieser Formation aus. Ein grofser Teil derselben ist nur mit Hilfe des Mikroskops sichtbar; trotz dieser Kleinheit vermochten sie jedoch durch massenhafte Anhäufung Schichten von gegen 150 Meter Mächtigkeit zu bilden, wie wir sie an den Gestaden der Insel Rügen erblicken. Durch ihre niedlichen Formen ausgezeichnet und auch dem unbewaffneten Auge erkennbar sind die Geschlechter Textularia, Frondicularia, Siderolithes u. a. Die Spongien (Seeschwämme) sind in der Kreide noch viel mannigfaltiger und zierlicher als im Jura. Ihre Gestalt gleicht bald einem Pokal, bald einer Feige, welche durch einen Stiel am Boden befestigt ist (Siphonia ficus), bald einem Schirm (Coeloptychium), bald einem Korbgeflecht (Scyphia und Manon). Korallenbauten fehlen zwar der Kreide nicht ganz; doch sind sie viel seltener als in der Juraformation. Die Seeigel (Echiniden) erreichen in der Kreidezeit das Maximum ihrer Entwicklung. Die wichtigsten charakteristischen Gattungen sind Ananchytes, Galerites, Holaster, Micraster und Toxaster.

Die Brachiopodengeschlechter Terebratula und Rhynchonella weisen noch immer zahlreiche Arten und viele Individuen auf. Unter den Gastropoden sind die Gattungen Nerinea, Actaeonella, Tornatella und Fusus sehr häufig. Von den Zweischalern liefern die Gattungen Exogyra, Gryphaea, Trigonia, Spondylus und Inoceramus eine Anzahl Leitfossilien; besonders wichtig aber sind die ausschliefslich cretacëischen Hippuriten oder Rudisten. Die letzteren sind namentlich in überraschender Menge in dem nach ihnen genannten Hippuritenkalke Südeuropas und Amerikas enthalten. Ferner haben die Ammoniten in der unteren Kreide noch eine Blüteperiode; dann aber beginnt ihre Degeneration, welche mit ihrem gänzlichen Erlöschen am Ausgang der Kreidezeit endet Ihrer völligen Vernichtung gehen höchst merkwürdige Formenverkrüppelungen voraus. Bei der Gattung Scaphites bleiben zwar noch die inneren Windungen; aber die äufseren biegen sich zu einem kahnartigen Gehäuse auf; bei Ancyloceras geschieht dies auch teilweise mit den inneren Windungen; bei Hamites verwandelt sich das ganze Gehäuse zu einem hakenähnlichen Gebilde; Baculites hat die Gestalt einer nahezu geraden, stabförmigen Röhre, welche in Turrilites zu einer Schraubenspirale aufgewunden ist. Auch die Belemniten, die treuen Genossen der Ammoniten, verschwinden am Schlusse der Kreidezeit.

Von den Crustaceen erscheinen die ersten echten Krabben. Fischreste sind in der Kreide sehr häufig. Doch nehmen die Ganoiden an

Formenreichtum und Häufigkeit ab, um den mit jugendlicher Kraft aufstrebenden echten Knochenfischen das Feld zu räumen; besonders sind die Kreis- und Kammschupper (Cycloiden und Ctenoiden) reich vertreten. Reptilienüberreste sind in der Kreideformation seltener als im Jura. Jurassische Nachzügler sind der Plesiosaurus, der Ichthyosaurus und der Pterodactylus. Der Kreideformation eigentümlich ist der schlangenähnliche Mosasaurus, eine gigantische Meereidechse, welche besser als irgend ein anderes Tier der Vorwelt dem fabelhaften Begriff der Seeschlange entspricht. Fossile Vögel und Säugetiere aus dieser Periode sind bis jetzt in Europa noch nicht ermittelt worden; ihr thatsächliches Vorkommen dürfte jedoch nicht zweifelhaft sein, da sie bereits in dem Jura, ja schon in der oberen Trias gefunden worden sind. Dagegen ist es M a r s h gelungen, in der Kreideformation von Kansas Überreste von Vögeln mit Zähnen und bikonkaven Wirbeln (Ichthyornis und Odontornis) nachzuweisen.

Nirgends in Europa erstreckt sich die Kreideformation über so grofse Räume wie in England, Frankreich und Deutschland. In England bildet die Kreide den Untergrund des ganzen östlich von der Jurazone liegenden Terrains (s. S. 347); sie wird hier an verschiedenen Stellen von der Tertiärformation überlagert. In Frankreich stellt die Kreideformation drei grofse Becken dar. Das nördliche, welches einer tellerförmigen Schale gleicht und von Seine und Loire entwässert wird, hat Paris zum Mittelpunkte; dasselbe ist in seinem Inneren von tertiären Schichten erfüllt. Das zweite, welches von dem granitischen Centralplateau Frankreichs bis zu den Pyrenäen reicht, gehört dem Stromgebiet der Garonne an; das dritte endlich wird von dem unteren Rhône durchschnitten. Von dem letzteren aus geht eine schmale Zone durch die Schweiz, Bayern, Tirol und Salzburg nach Österreich. Ein weites Kreidegebiet breitet sich ferner über die ganze norddeutsche Ebene von Belgien und Holland bis nach Rufsland hinein aus, ist jedoch fast überall von Tertiär- und Diluvialschichten bedeckt, aus welchen es nur hie und da inselartig emporragt. Auf weite Strecken hin tritt die Kreide in Mitteleuropa nur in dem nordöstlichen Böhmen zu Tage; kleinere Kreidegebiete erscheinen bei Maastricht, Aachen, im Teutoburger Walde und in dessen Umgebung, bei Hannover, Braunschweig, am Nordabhange des Harzes, im Ohmgebirge (nördlich von Worbis), im Elbsandsteingebirge, bei Löwenberg in Niederschlesien, auf Rügen, den dänischen Inseln und in dem südlichen Schweden. Ferner besitzen die südeuropäischen Halbinseln, sowie Mittel- und Südrufsland ansehnliche Kreidegebiete. In Asien kennen wir solche am Kaukasus, am Libanon, in Vorderindien, wo sie den oberen Indus und Setledsch begleiten; Afrika hat seine cretaceïschen Schichten in Ägypten, im Atlas

und im Kaplande, Nordamerika an vielen Stellen der atlantischen Küstenebene, am Ostabfall der Rocky-Mountains, sowie an den Gestaden des Stillen Oceans, Südamerika endlich an der ganzen Ostseite der Anden von Argentinien bis Colombien.

4. Die känozoische Formationsgruppe.

Das Tertiär, welches der Kreideformation folgt, vermittelt in mannigfacher Hinsicht den Übergang aus dem mesozoischen Zeitalter zur Gegenwart. Vor allen Dingen nähert sich das organische Leben Schritt für Schritt dem jetzigen. Infolge gewaltiger Revolutionen auf der Erdoberfläche erheben sich weite Meeresgebiete aus dem Schofse des Oceans, wodurch den Kontinenten wenigstens im allgemeinen ihre heutigen Konturen verliehen werden, und zugleich findet auch die Aufrichtung unserer Hochgebirge, z. B. der Pyrenäen, der Alpen, des Kaukasus, des Himalaya und der Cordilleren statt.

In petrographischer Beziehung herrscht eine aufserordentliche Mannigfaltigkeit; denn die Ablagerungen setzen sich zusammen aus festen Conglomeraten (Nagelflue), kompakten Kalken, Sandsteinen und Schiefern, sowie aus weichen Sandsteinen (Molasse), losem Sande und plastischem Thon (Tegel). Die marinen Ablagerungen sind häufig ausgezeichnet durch das Vorkommen von Salz, Gips, Schwefel und Petroleum, die Süfswassersedimente durch den Reichtum an Braunkohlen, weshalb man der Tertiärformation auch den Namen Braunkohlenformation beigelegt hat. Hingegen fehlt es ihr, abgesehen von den Brauneisenerzen, fast gänzlich an Erzen.

Das Pflanzen- und Tierleben der Tertiärzeit trägt, verglichen mit früheren Zeitaltern, folgende charakteristischen Merkmale an sich: Die in den mesozoischen Formationen so wichtigen Cycadeen und Coniferen treten zurück, während die Palmen und angiospermen Dikotyledonen (Laubhölzer) in ungeheuren Massen erscheinen. Zum ersten Male wird auch ein Wechsel des Pflanzenlebens vom Äquator nach dem Pole hin deutlich bemerkbar, was auf die Entstehung klimatischer Zonen, also auf eine wesentliche Verminderung der Eigenwärme der Erde, wenigstens im Hinblick auf ihre oberflächlichen Schichten, hinweist. Wahrscheinlich verwandelte sich am Ende der Tertiärzeit zum ersten Male das Wasser an den Polen und auf den Hochgebirgen zu Eis. Was ferner das Tierleben betrifft, so sterben die im mesozoischen Zeitalter so überaus zahlreichen Ammoniten und Belemniten ganz aus; die Crinoideen, Ganoiden und grofsen Reptilien verlieren an Bedeutung; dagegen erlangen die Säugetiere eine überaus hohe Wichtigkeit.

Langsam, aber beharrlich näherte sich, wie bereits erwähnt, das organische Leben innerhalb der Tertiärperiode dem der Gegenwart.

Deshayes zeigte, dafs in den ältesten Pariser Tertiärschichten nur 3 Prozent, in denen bei Wien und Bordeaux 17 Prozent und in denjenigen am Fufse des Apennin mehr als 35 Prozent der jetzt noch lebenden Conchylienarten sich vorfinden. Darauf gründete Sir Charles Lyell (1832) seine Einteilung der Tertiärformation in eocäne, miocäne und pliocäne Bildungen. Nach Lyell sind in den eocänen Bildungen (von ἠώς, Morgenröte, und καινός, neu) 3 bis 17 Prozent, in den miocänen Bildungen (von μείων, weniger, und καινός) 17 bis 35 Prozent und in den pliocänen Bildungen (von πλείων, mehr, und καινός) 60 bis 80 Prozent der versteinerten Conchylien mit den jetzt noch lebenden identisch. Diese Einteilung gründet sich, wie man sieht, nur auf die fossilen Conchylien, die somit gewissermafsen als Gradmesser gebraucht werden, um die Verwandtschaft der damaligen Tierwelt mit der jetzigen zu ermitteln. In Ermangelung eines besseren Einteilungsprincips bedient man sich desselben auch jetzt noch; nur hat man nach neueren Untersuchungen jene Werte dahin geändert, dafs das Eocän noch keine, das Miocän 10 bis 40, das Pliocän 50 bis 90 Prozent der jetzt noch lebenden Conchylien besitzt. Demnach hat man den Namen Eocän auf die untersten Schichten beschränkt und den oberen der früher sogenannten eocänen Bildungen den Namen Oligocän (von ὀλίγος, wenig, und καινός, neu) gegeben. Die beiden unteren Stufen der Tertiärformation (Eocän und Oligocän) fafst man auch zusammen unter dem Namen Eogen, die beiden oberen (Miocän und Pliocän) unter dem Namen Neogen. Es gilt nun, das Pflanzen- und Tierleben dieser beiden Gruppen der Tertiärzeit kurz zu kennzeichnen.

Die Eogenflora war im Vergleich zu der des früheren Zeitalters eine aufserordentlich üppige und mannigfaltige. Während in der Trias- und Jurazeit die Physiognomie der Landschaften durch zwei bis drei Formengruppen bestimmt wurde, treten jetzt alle wichtigeren Ordnungen der heutigen Pflanzenwelt auf und in besonders reicher Menge die gegenwärtig tropischen und subtropischen Gewächse. Die Nadelhölzer kommen zwar in der Form von Cypressen, Pinien und Wachholder immer noch häufig vor; doch haben sie an Bedeutung viel verloren, und die Farne gehören schon fast zu den Seltenheiten. Hingegen erhalten die Laubhölzer einen aufserordentlichen Zuwachs. Mit immergrünen Eichen, Feigenbäumen, Lorbeer-, Sassafras-, Zimmetbäumen, Myrten, Magnolien, Erlen, Ahorn-, Wallnufsbäumen und Birken mischen sich Palmen, sowie steifblättrige Proteaceen von afrikanischem oder australischem Habitus. Gerade das bunte Durcheinander von Coniferen, immergrünen Laubbäumen und Palmen, wie es sich auch in der norddeutschen Braunkohle klar zu erkennen giebt, ist ein Beweis für den tropischen Charakter der damaligen Pflanzenwelt,

welche in dieser sonderbaren Mischung an die westindische, speciell an die cubanische Flora erinnert. Der tropische Urwald unterscheidet sich ja insbesondere durch die Mannigfaltigkeit der Baumgestalten von den einförmigen nordischen Wäldern und Hainen.

Unter den niederen Tieren der Eogenzeit nimmt das Geschlecht der Nummuliten (Münzensteine) ein besonderes Interesse in Anspruch, da diese Tiere für die Eogenbildungen, namentlich in den Alpen, ein vorzügliches Leitfossil sind. Die Nummuliten sind linsen- oder scheibenförmige Körper von der Gröfse eines Stecknadelkopfes bis zu der eines Thalers. Zerschlägt man sie, so erblickt man auf den Bruchflächen zahlreiche spiralige Windungen, deren Bau deutlich zeigt, dafs sie zu den Foraminiferen zu rechnen sind. Die ungeheure Menge dieser Tiere übertrifft alle Vorstellungen; denn vielfach bestehen mächtige Schichtensysteme zum Teil fast ausschliefslich aus Nummuliten und zwar nicht etwa blofs auf beschränktem Raume; denn ihr Verbreitungsgebiet reicht von Spanien und Marokko auf beiden Seiten des Mittelländischen Meeres durch die ganzen Alpen und Karpathen, durch Italien, die türkisch-griechische Halbinsel, Kleinasien und Ägypten, Persien und Ostindien bis nach China und Japan, also von einem Ende der Alten Welt bis zum anderen. Die den Nummulitenkalk so häufig überlagernde sogenannte Flyschzone, welche meist von dunkel gefärbten Schiefern, Mergeln und Sandsteinen gebildet wird, ist im vollsten Gegensatz zum Nummulitenkalk überaus arm an animalischen Versteinerungen; nur vegetabilische Reste (Seetange) beherbergt sie in reicher Menge.

Der Bau der eogenen Fische stimmt im wesentlichen mit dem der gegenwärtigen Fische überein. Ähnliches darf man von den Amphibien und Reptilien behaupten. Die merkwürdigen Kollektivtypen der vorigen Periode sind fast ganz verschwunden. Sie finden sich nur noch in einer einzigen Ordnung: bei den Schildkröten; doch sind andrerseits von den eogenen Schildkröten nicht wenige zu den jetzt noch lebenden Gattungen zu zählen. Frösche, Schlangen, echte Eidechsen und Krokodile sind uns in grofser Zahl fossil erhalten. Vogelüberreste sind verhältnismäfsig selten und weisen fast stets auf die Existenz jetzt noch vorhandener Ordnungen hin. Bemerkenswert sind nur die im Londonthon entdeckten Überreste eines Vogels (Odontopteryx) mit knöchernen Zähnen. Dagegen sind die eogenen Säugetiere von hohem Interesse. Zwar weisen auch schon die vortertiären Formationen solche auf; allein dort gehören sie nur der am tiefsten organisierten Ordnung an: den Beuteltieren, die ihre unreif geborenen Jungen noch lange in einer sackartigen Tasche tragen. In dem eogenen Zeitalter aber begegnen wir fast allen Ordnungen der heutigen Säuge-

tiere, welche uns jedoch durch ihre seltsamen Formen noch in hohem Grade überraschen. Weit verbreitet und artenreich sind die beiden Huftiergattungen Palaeotherium und Anoplotherium. Das erstere, dessen Gröfse zwischen der eines Hasen und eines Pferdes schwankt, ähnelt am meisten dem heutigen Tapir; nur gleichen seine Backzähne denen des Rhinoceros; auch hat es an Vorder- und Hinterfüfsen je drei hufartige Zehen, während der Tapir am Vorderfufse deren vier besitzt. Das Anoplotherium zeigt in seinen Schädelumrissen eine auffallende Verwandtschaft mit dem Pferde. In der Bezahnung wie im übrigen Skelettbau vereinigt es in sich Dickhäuter-, Wiederkäuer- und Schweinsmerkmale. Namentlich gilt dies auch von den Gliedmafsen. Die Beinabschnitte verhalten sich zu einander wie beim Tapir und Schwein; das Vorhandensein von nur zwei Zehen und zwei Hufen hingegen erinnert an die Wiederkäuer. Wir haben hier wieder Kollektivtypen vor uns, aus denen sich später die echten Dickhäuter, Wiederkäuer und Schweine entwickelten, die ja in jener Periode noch fehlten. Dem Anoplotherium nahe stehend, aber viel schlanker gebaut als dieses ist das Xiphodon. Seine Beine sind beträchtlich länger; sein Kopf stimmt mit dem Gazellenkopf nahezu überein; doch ist sein Gebifs noch unverkennbar mit Dickhäuter-Merkmalen behaftet. Gegenüber den pflanzenfressenden Huftieren sind die übrigen Ordnungen der Säugetiere im Eogen schwach vertreten. Die damaligen Raubtiere verraten verwandtschaftliche Beziehungen zu unseren Hyänen, Zibethkatzen, Bären und Hunden; doch zählen sie ohne Ausnahme zu keiner dieser Gattungen; sie tragen vielmehr stets die Eigentümlichkeiten verschiedener Familien an sich. Aufserdem hat man Reste von einigen Nagern, Insektenfressern und Fledermäusen gefunden, sowie eine Art Opossum (zu den Beuteltieren gehörig), ferner einen Affen (Caenopithecus), welcher ein Mittelglied bildet zwischen den afrikanischen Makis und den südamerikanischen Brüllaffen, und einige seehund- und walähnliche Tiere. Im Jahre 1870 entdeckte man in Wyoming (Nordamerika) Überreste riesiger eogener Säugetiere: Skelette des Loxolophodon und Dinoceras. Ihr schmaler Schädel trägt drei Paare seltsam geformte Hörner; Rumpf und Beine sind elefantenartig gestaltet, während das Skelett sonst vielfache Ähnlichkeit hat mit dem des Rhinoceros und des Tapir. Man darf sie wohl als die Ahnen der jungtertiären Dinotherien, Mastodonten und der echten Elefanten betrachten.

Das jüngere oder neogene Tertiär, welches das Miocän und Pliocän umfafst, weist einen reichen Wechsel von Salz-, Brack- und Süfswassersedimenten auf; doch haben diese nicht mehr wie die eogenen Ablagerungen Anteil an der Gebirgsbildung. Sie erfüllen vielmehr ausschliefslich niedere Becken und sind durch die Empor-

hebung der Hoch- und Mittelgebirge nur selten aus ihrer Ruhelage gestört worden.

Die Flora der Neogenzeit ist eine viel reichere und üppigere als die der Gegenwart; sie besitzt speciell in Europa einen subtropischen Charakter. In der Miocänzeit kommen in Europa zahlreiche Pflanzentypen vor, welche jetzt in den verschiedensten Länderräumen heimisch sind, namentlich auch solche, die jetzt zu rein amerikanischen Pflanzen geworden sind. Die Gefäfskryptogamen und Nadelhölzer, obwohl noch immer von gröfserer Bedeutung als in unserer Zeit, treten gegen die Blütengewächse in den Hintergrund. Von den Monokotyledonen, zusammen 119 Arten, nehmen die Palmen, Pandanen, Liliengewächse, Gräser und Cyperaceen einen hervorragenden Rang ein. Zu den Dikotyledonen zählen sogar gegen 500 Arten. Hierher gehören die Amberbäume, Platanen, Weiden, immergrünen Eichen, Pappeln, Ulmen, Ahorn-, Lorbeer-, Zimmet-, Nufsbäume. Minder zahlreich waren die Proteaceen, Magnolien, Myrten und Linden; bereits reifte auch die Weintraube im Gebiete der Wetterau. Heer[1]), dem wir die gründlichsten Arbeiten über die tertiäre Flora verdanken, hat durch Vergleichung derselben mit der jetzigen die überraschende Thatsache festgestellt, dafs von den Pflanzen der Gegenwart, welche jungtertiären Gewächsen der Schweiz nahe stehen, 137 in Mittel- und Südeuropa, 23 im mittleren, 85 im subtropischen und tropischen Asien, 83 in den nördlichen und 103 in den südlichen Vereinigten Staaten, 41 im tropischen Amerika, 6 in Chile, 25 auf den atlantischen Inseln Afrikas, 25 im übrigen Afrika und 22 in Nenholland gefunden werden. Europa vereinigte also in der neogenen Tertiärzeit Pflanzentypen, die jetzt nach aller Herren Länder ausgewandert sind und mit Vorliebe den Gürtel zwischen den Isothermen von 15 und 25° C. aufgesucht haben. Überdies ist das Pflanzenleben nicht in allen Horizonten der neogenen Tertiärzeit dasselbe. In der pliocänen Periode wächst die Zahl der Bäume mit Laubwurf; diese drängen die immergrünen bis nahezu auf die Hälfte zurück. Je weiter wir von unten nach oben emporsteigen, um so mehr verschwinden Palmen, Pandanen, Feigen und Akazien, während Ahorn und Pappeln im entsprechenden Mafse sich vermehren. Wahrscheinlich war dies die Folge einer ununterbrochen fortschreitenden Temperaturabnahme.

Auch in der neogenen Zeit beanspruchen die Säugetiere in ganz besonderer Weise unser Interesse. Ist ihre Verwandtschaft mit der eogenen Tierwelt auch nicht zu verkennen, so wird doch namentlich

[1]) Untersuchungen über das Klima und die Vegetationsverhältnisse des Tertiärlandes. Winterthur 1860. S. 58.

in Europa sehr oft jeder specifische Zusammenhang vermiſst; ja, es findet sogar bezüglich der Gattungen vielfach eine totale Umwandlung statt. Bemerkenswert ist vor allem das Auftreten groſser Rüsseltiere, welche den drei Gattungen Mastodon, Dinotherium und Elephas angehören. Die Mastodonten stimmen hinsichtlich ihrer Gröſse, ihrer plumpen fünfzehigen Füſse, ihres Rüssels und Knochenbaues ziemlich mit den Elefanten der Gegenwart überein. Doch sind einige Arten nicht nur mit zwei groſsen schwachgebogenen Stoſszähnen im Oberkiefer ausgerüstet, sondern auch mit zwei kleinen geraden im Unterkiefer. Den eigentümlichen zitzenförmigen Erhöhungen ihrer Backzähne verdanken sie ihren Namen. Ein Zeitgenosse des Mastodon ist das gewaltige Dinotherium, ebenfalls ein Rüsseltier mit zwei starken, nach unten gebogenen Stoſszähnen im Unterkiefer, sowie mit tapirartigen Backzähnen. Das Erscheinen des eigentlichen Elefanten fällt in den Schluſs der Tertiärzeit. Gleichzeitig begegnen wir einem Rhinoceros mit einem Horn (Rh. incisivus) und einem ohne Horn (Aceratherium). Das Pferd der Neogenperiode, das Hippotherium oder Hipparion, hat bereits die schlanke Gestalt unseres Pferdes; auch läuft es, wie dieses, auf einem einzigen Hufe; doch besitzt es auſserdem zwei Nebenhufe, welche dem Pferde der Gegenwart nur als kurze, verkümmerte Stummeln noch erhalten sind. Aus der Ordnung der Wiederkäuer sind zu erwähnen: geweihtragende Hirsche (Cervus), rehartige Tiere (Palaeomeryx), Kamele, Giraffen (Heladotherium), Antilopen, Gazellen, Moschustiere, — ferner von den Raubtieren eine groſse, löwenähnliche Katze (Machairodus) und ein hundeartiges Tier (Amphicyon), — von den Nagern der Biber und das Murmeltier, — von den Affen eine Art von Semnopithecus (Schlankaffe), sowie die Gattungen Hylobates und Dryopithecus. Die beiden letzteren erinnern lebhaft an den Gibbon.

Überblicken wir die Säugetierfauna der Tertiärzeit, so ergiebt sich, daſs sie, wenigstens an ihrem Schlusse, nicht ärmer an Formen gewesen ist als die Gegenwart. Fast die Hälfte der heutigen Gattungen trug schon damals alle generischen Merkmale ihrer Nachkommen an sich; unsere heutigen Rüsseltiere und sonstigen Dickhäuter stammen ohne Ausnahme, die Wiederkäuer, Raubtiere, Nager und Affen wenigstens teilweise unmittelbar aus der Neogenzeit.

Alle Erdteile weisen Tertiärablagerungen auf. Speciell für Europa gewinnen dieselben deshalb eine besondere Bedeutung, weil sie hier nicht bloſs, wie sonst vielfach, auf die Küstengebiete beschränkt sind, sondern infolge der reichen horizontalen Gliederung unseres Kontinentes auch über centrale Teile desselben sich erstrecken. Die ganze norddeutsche Tiefebene ist ein freilich gröſstenteils mit noch jüngeren

Ablagerungen bedecktes Tertiärland, welches sich nach Osten durch Polen und Rufsland bis zum unteren Dnjepr, nach Süden bis ins nördliche Böhmen, nach Westen durch Holland nach Belgien ausbreitet. Südostengland und das nördliche Frankreich bis zum Granitplateau Centralfrankreichs stellen ein grofses Tertiärgebiet dar. Ferner besteht die Garonne-, wie die Rhônetiefebene aus Niederschlägen jenes Tertiärmeeres, welches einst den Atlantischen Ocean und das Mittelländische Meer mit einander verband. Eine schmale Zone tertiärer Bildungen begleitet auch die West- und Nordseite der Alpen; sie zieht sich durch die Schweiz, das südliche Württemberg und Bayern bis Wien und tritt so mit dem grofsen Tertiärland in Verbindung, zu welchem fast ganz Mähren, Ungarn und Siebenbürgen gehören. Ferner ist die Poebene völlig vom Tertiär unterteuft. Auch auf den drei grofsen südeuropäischen Halbinseln nehmen die tertiären Gebilde weite Räume ein.

In Asien reicht das Tertiär durch ganz Sibirien bis an die Ostgrenze des Erdteils, während sich eine andere grofse Tertiärzone in den südasiatischen Ländern vorfindet. In Nordamerika umsäumt das Tertiär im weiten Bogen die Alleghanies: es beginnt bei New-York, folgt bis Florida der atlantischen Küste, bis Texas der des Busens von Mexico und aufwärts bis zur Ohiomündung dem Mississippi. Auch an der pacifischen Küste begegnen wir einem Tertiärstreifen. Im Innern von Nordamerika umfassen brackische und Süfswasserablagerungen aus der Tertiärzeit weite Räume. Endlich besitzt auch Grönland sein Tertiärgebiet. In diesem heute so unwirtlichen Lande bildeten sich damals Braunkohlenflöze von 3 Meter Mächtigkeit und zwar aus Pflanzen, die mit den miocänen Formen Deutschlands und der Schweiz nahe verwandt sind.

Das Quartär ist das jüngste aller Schichtensysteme, welche die Kontinente bedecken. Vielfach läfst sich die Beschaffenheit der quartären Sedimente kaum von demjenigen Material unterscheiden, welches unsere Flüsse und Ströme gegenwärtig ablagern. Teilweise sind es Gerölle und Geschiebe, welche zu Conglomeraten verbunden sind, teilweise feiner Sand, Lehm und Thon. Sie erfüllen als die jüngsten geologischen Bildungen insbesondere die tieferen Thalgebiete der Ströme. Doch dürfen wir die oft ungeheuren Anhäufungen von Schutt nicht als direkte Wirkung von Hochfluten unserer heutigen Ströme ansehen; die ganz andere Oberflächenbeschaffenheit hat offenbar den damaligen Fluten auch eine wesentlich andere Wirksamkeit verliehen. In jedem Falle ist festzuhalten, dafs die marinen Ablagerungen in der Quartärzeit selten sind, während Süfswasserbildungen — und zwar bald Flufs-, bald Seebildungen — die Oberhand gewinnen. Gewöhnlich bezeichnet

man die älteren quartären Sedimente als Diluvium, die jüngeren als Alluvium und begreift unter dem letzteren die jetzt noch vor sich gehenden Neubildungen; doch ist es unmöglich, eine genaue Grenze zwischen beiden anzugeben.

Läfst sich für die diluvialen Schuttablagerungen in Flufsthälern und Seebecken sehr leicht die Art ihrer Entstehung nachweisen, so gilt dies doch nicht von denjenigen diluvialen Lehmablagerungen, welche man Löfs nennt. Er findet sich fast in allen mittel- und südeuropäischen Thalgebieten und ist ein gelblicher, undeutlich geschichteter Kalkschlamm, der sich mit den Fingern leicht zerreiben und nafs leicht kneten läfst. Da in dem Löfs stets die Gehäuse von Landschnecken (z. B. Succinea, Pupa und Helix) vorkommen, fast niemals aber von Schnecken, welche in Sümpfen, Flüssen oder Seen leben, so ist er sicherlich ein Landgebilde. Nach der gegenwärtig fast allgemein anerkannten Erklärung F. v. Richthofens[1]) ist der chinesische Löfs äolischen Ursprungs: er geht hervor aus den ungeheuren Massen feinen, durch Gesteinsverwitterung hervorgebrachten Staubes, welcher von den Winden umhergetragen wird, bis er auf grasbedeckten steppenartigen Flächen zum Absatz gelangt. Namentlich erweisen sich die windgeschützten Hohlkehlen auf der Leeseite eines Gebirges zur Aufnahme des Löfsabsatzes recht günstig; in solchen Gebieten erreicht derselbe in Innerasien oft weit über 500 Meter Mächtigkeit. Doch sind auch die vorderasiatischen und nordamerikanischen, ja selbst die europäischen Löfsflächen im allgemeinen wohl unter dasselbe Bildungsgesetz zu stellen. Hinsichtlich der letzteren hat Emil Tietze[2]) dargethan, dafs sie viel häufiger und nicht selten ganz ausschliefslich an der Westseite der meridional laufenden Thäler vorkommen. Diese Erscheinung wird nur begreiflich, wenn man Sand- und Staubstürmen den Hauptanteil an den Löfsbildungen zuschreibt. Da nämlich in Europa West- und Südwestwinde vorherrschen, so sind die ruhigeren, windgeschützten Ostabhänge der Terrainerhebungen (d. i. die Westseiten der Thäler) mehr zur Ablagerung von Staubmassen geeignet als die dem Anprall des Windes ausgesetzten westlichen Bergflanken, die vielmehr eine Blofslegung durch den Wind zu gewärtigen haben.

Das Diluvium ist nicht arm an mineralischen Schätzen. Die diluvialen Torflager gewähren den Bewohnern der Ebene das Brennmaterial; die Geröll-, Sand- und Lehmlagen werden bei dem Bau von Häusern und Strafsen verwendet, und hie und da, wie am Ural, in

[1]) China. Bd. I (Berlin 1877), S. 56 ff. u. Bd. II (1882), S. 741 f.

[2]) Jahrbuch der K. K. geologischen Reichsanstalt. Bd. XXXII (1882), S. 132—149.

Californien und Australien, enthalten sie eingeschwemmte Metalle (z. B. Gold, Platin, Zinn u. a.) in so reicher Menge, daſs es sich lohnt, dieselben aus jenen Ablagerungen auszuwaschen.

In die Diluvialperiode fällt auch die in einem späteren Abschnitt ausführlich zu besprechende Eiszeit. Hier verdient nur hervorgehoben zu werden, daſs die diluvialen Pflanzen- und Tierreste nicht auf ein wesentlich kälteres Klima zu schlieſsen gestatten.

Die wichtigste Fundstätte für diluviale Pflanzen, von denen übrigens nur dürftige Überreste vorhanden sind, ist nach Heer ein Kalktuff von Cannstadt bei Stuttgart. Man hat bisher 29 Pflanzenarten in demselben entdeckt, von denen nur drei erloschen sind (eine Eiche, eine Pappel und ein Nuſsbaum). Die übrigen aber, zu denen Rottanne, Weiſsbirke, Haselnuſs, Berg-Ahorn, Espe, Hainbuche, Ulme u. a. gehören, existieren bis auf den Buchsbaum heute noch in Württemberg. Unter allen bisher in Centraleuropa aufgefundenen diluvialen Pflanzen deuten nur zwei (Arve und Zwergbirke) auf ein wesentlich kälteres Klima zur Diluvialzeit hin.

Wiederum knüpft sich ein besonderes Interesse an die Überreste von Säugetieren aus jener Zeit. Läſst sich auch nicht streng darthun, daſs die Gesamtheit der diluvialen Tiere schon während der Eiszeit die von Gletschern befreiten tieferen Gebiete bewohnt hat, so ist dies doch für viele erwiesen; sicher haben die meisten den Schluſs der Eiszeit noch miterlebt.

Unter den 55 Arten diluvialer Säugetiere sind ein Drittel Raubtiere. Von ihnen erwähnen wir: den Höhlenbär (Ursus spelaeus), welcher sich durch Stirnbildung, Gebiſs und Skelettbau von den gegenwärtigen Bärenarten unterscheidet, sie auch an Gröſse übertrifft, die Höhlenhyäne (Hyaena spelaea), welche der afrikanischen gefleckten Hyäne sehr nahe steht, und den Höhlenlöwen (Felis spelaea), der mit dem heutigen Löwen fast ganz übereinstimmt. Insbesondere liegen Überreste der beiden erstgenannten Tiere in ungeheurer Menge in den Höhlen Süd- und Mitteleuropas. Wildkatze und Luchs sind im Diluvium selten. Ferner erscheinen damals bereits Wolf und Fuchs (der Hund fehlte noch) und von den kleineren Raubtieren Vielfraſs (Gulo), Marder, Iltis, Dachs und Fischotter.

Das bekannteste Tier der Diluvialzeit ist das Mammut oder der Mammutelefant (Elephas primigenius), dessen Skelett mit dem des indischen Elefanten fast völlig identisch ist; doch ist er gröſser als dieser; auch sind seine Stoſszähne doppelt so stark und lang als die unseres Elefanten. Ferner besaſs das Mammut im völligen Gegensatz zu diesem einen Pelz von langem, rotbraunem Wollhaar, woraus sich wohl seine Verbreitung nach kalten Klimaten erklären läſst. Kommen

doch selbst auf Neusibirien Mammutreste in solcher Häufigkeit vor, dafs das fossile Elfenbein dieser Inselgruppe zu einem wichtigen Handelsartikel werden konnte! Vielleicht erfolgte die Auswanderung, resp. das Aussterben des Mammut beim Einbruche der Eiszeit, in der zwar Sibirien nicht mit Eis bedeckt, wahrscheinlich aber feuchter, schneereicher und etwas kälter war. Zu den diluvialen Tieren gehören auch das Knochennashorn (Rhinoceros tichorhinus), ein ausgestorbenes Flufspferd (Hippopotamus) und das Wildschwein. Die damaligen Wälder wurden durchstreift von dem Riesenhirsch (wahrscheinlich der „Schelch" des Nibelungenliedes), dem Edelhirsch, dem Elentier („Elch"), dem Renntier und dem Reh. Ferner lebten der Moschusochse, der Wisent, der Ur (Bos primigenius), der Steinbock, die Gemse, sowie das Pferd.

In dieses Zeitalter fällt endlich auch das Auftreten des Menschen, wenn dies nicht etwa gar in das Ende der Tertiärzeit zurückzuverlegen ist, wozu allerdings noch keine genügend sicheren Anhaltepunkte vorhanden sind. Dafs es fossile, speciell diluviale Menschenüberreste giebt, wurde noch bis in die Mitte dieses Jahrhunderts von allen Forschern ernstlich bezweifelt; hielt man doch gerade das Auftreten des Menschen für den Anfangspunkt der geologischen Gegenwart! Aber seit der Auffindung zahlreicher menschlicher Skelettteile im Diluvium — so im Jahre 1852 in einer Höhle bei Aurignac am nördlichen Abhange der Pyrenäen, im Jahre 1856 in einer Höhle des Neanderthales bei Düsseldorf und in zahlreichen anderen Höhlen Deutschlands, Frankreichs, Belgiens und Englands — ist die Existenz diluvialer Menschen sicher erwiesen. Später entdeckte man solche auch in offenen Erdschichten; zugleich bezeugen Kieseläxte und Feuersteinmesser, Gerätschaften und Küchenabfälle, welche von diluvialen Schichten überlagert sind, dafs bereits im diluvialen Zeitalter der Mensch auf dem Schauplatze der Schöpfung erschienen war. So leitet dasselbe hinüber in die geologische Gegenwart, welche in der vollen und freien Entwicklung des Menschengeschlechts ihren Höhepunkt erreicht.

Wir fügen dieser kurzen Schilderung der geologischen Zeitalter zur leichteren Orientierung noch eine übersichtliche Zusammenstellung der sedimentären Bildungen mit den gewöhnlichen Bezeichnungen der Zeitalter, Formationen und Formationsabteilungen hinzu.

Känozoische Formationsgruppe.

Quartär.

Alluvium	
Diluvium	Höhlenbär, Höhlenhyäne, Mammut, Knochennashorn, Riesenhirsch. Die ersten Spuren des Menschen.

Tertiärformation.	
Pliocän, Miocän } Neogen	Mannigfaltige Laubhölzer. — Mastodon, Dinotherium, Hipparion, Affen.
Oligocän, Eocän } Eogen	In Europa: Echt tropische Flora. — Palaeotherium, Anoplotherium, Xiphodon. Nummuliten.

Mesozoische Formationsgruppe.

Kreideformation.	
Senon Turon Cenoman Gault Neocom	Die ersten Laubhölzer; noch viele tropische Coniferen, Cycadeen und Kryptogamen. — Viele Foraminiferen, Seeschwämme. Inoceramen, Hippuriten. Ammoniten und Belemniten sterben aus. Grofse Meereidechse Mosasaurus.

Juraformation.	
Weifser Jura (Malm) Brauner Jura (Dogger) Schwarzer Jura (Lias)	Kryptogamen, Coniferen und Cycadeen. — Ammoniten, Belemniten, riffbauende Korallen. Erste Knochenfische. Fischsaurier. Erste Vögel (Archaeopteryx). Beuteltiere.

Triasformation.	
Keuper Muschelkalk Buntsandstein	Riesige Schachtelhalme (Equisetum), Cycadeen und Nadelhölzer. — In den Alpen die ersten echten Ammoniten. Meersaurier (Nothosaurus), Froschsaurier (Labyrinthodonten). Vogelspuren (Fährten). Das älteste Säugetier, Mikrolestes, ein Beuteltier.

Paläozoische Formationsgruppe.

Dyas oder permische Formation.	
Zechsteingruppe Rotliegendes	Verkieselte Farnstrünke, Coniferen. — Viel Productus, Spirifer; Trilobiten erlöschen. Ungleichschwänzige Schmelzschupper (heterocercale Ganoiden). Amphibien (Archegosaurus), Reptilien (Proterosaurus).

Carbonische oder Steinkohlenformation.	
Produktive Steinkohlenformation Kulm und Kohlenkalk	Grofsartige Entfaltung der Kryptogamen (Farne, Calamites, Sigillaria, Lepidodendron). — Maximum der Crinoideen; unter den Brachiopoden namentlich Productus. Erste Spinnen und Insekten. Erste Amphibien (Labyrinthodonten).

Devonische Formation.	
	Die ersten Landpflanzen (Gefäfskryptogamen). — Trilobiten nehmen ab. Cephalopoden, Brachiopoden, Deckelkorallen. Panzerganoidfische.

Silurische Formation.	Seetange. — Tiere sämtlich wirbellos bis auf wenige Fische im oberen Silur. Trilobiten, Cephalopoden, Brachiopoden, Korallen, Crinoideen, Graptolithen.

Archäische Formationsgruppe.

Huronische Schieferformation.	Spärliche Tange. Vielleicht Graptolithen, wenige Crinoideenreste.
Laurentische Gneisformation.	Eozoon Canadense, ein zweifelhafter Tierrest (Foraminifere).

C. Die Kohle, ihr Abbau und ihre wirtschaftliche Bedeutung.

Anhang zu dem Abschnitt:

Der Schichtenbau der abgekühlten Erdrinde.

Unter den zahlreichen Schätzen, welche in den Tiefen unseres Planeten ruhen, ist wohl keiner — selbst Gold und Silber nicht ausgeschlossen — von so hohem Werte wie die Kohle. Ist sie doch der Motor unserer Maschinen und somit in gewissem Sinne einer der Träger moderner Kultur! Bei der ungeheuren Bedeutung, welche die Verwendung der Kohlenkräfte in neuerer Zeit erlangt hat, ist es wohl gestattet, ihr an dieser Stelle eine kurze Betrachtung zu widmen.

Schon bei Besprechung der carbonischen Periode wurde gezeigt, dafs unsere Steinkohlenflöze aus den gewaltigen Pflanzenanhäufungen jenes Zeitalters hervorgegangen sind. Doch ist das Vorkommen der Kohle überhaupt nicht auf die carbonische Formation beschränkt; sie findet sich vielmehr in allen Formationen, die ein reicheres Pflanzenleben besafsen, und fehlt daher nur in der archäischen Formationsgruppe. Doch sind vielleicht auch hier die zahlreichen Graphitflöze, welche in die laurentischen Gneise eingeschaltet sind und in ihrem Auftreten lebhaft an die jüngeren Kohlengesteine erinnern, das Resultat eines Verkohlungsprozesses, bei welchem die Holzfaser zunächst in Braunkohle, sodann in Steinkohle und Anthracit verwandelt wurde und der zuletzt mit der Graphitbildung endete.

In der Silurformation begegnen wir vereinzelten Anthracitflözen, welche nur durch Ansammlung von Seetangen entstehen konnten, da

im Silur fast alle höher organisierten Pflanzen noch vermifst werden. Aber auch die bereits höher entwickelte devonische Flora vermochte nur Steinkohlen- und Anthracitlager von ganz untergeordneter Bedeutung zu erzeugen. Erst die reiche Entfaltung des Pflanzenlebens im carbonischen Zeitalter führte eine so massenhafte Aufspeicherung von Stämmen, Zweigen und Wurzelstücken herbei, dafs diese selbst zu mächtigen Steinkohlenflözen ein genügend reiches Material lieferten. Doch gilt das Gesagte im wesentlichen nur von dem oberen Stockwerke der Steinkohlenformation. Der untere Teil derselben, der sogenannte Kohlenkalk, ist als eine rein marine Bildung ohne Kohlenflöze; nur die verschiedenen Land- oder Sumpfablagerungen des Kulm, welche nahezu gleichen Alters sind wie der Kohlenkalk, enthalten in manchen Gegenden zahlreiche, jedoch meist wenig ansehnliche und daher nicht abbauwürdige Flöze.

Die wichtigsten Repräsentanten der carbonischen Vegetation sind Calamiten, Sigillarien, Lepidodendren und Farne; nur selten schliefsen die Steinkohlenflöze auch Reste von Cycadeen (Noeggerathia) und Nadelhölzern (Araucarien) ein. Doch war die carbonische Flora nicht in allen Horizonten völlig dieselbe, sondern wechselte nach einem bestimmten Gesetze. Göppert verfolgte zuerst eine solche Veränderung in den schlesischen Kohlenfeldern. Später erkannte sie Geinitz auch in den sächsischen Kohlenlagern, und es gelang ihm, das carbonische Zeitalter in gewisse Perioden zu zerlegen, nach deren Ablauf die Natur immer ihr vegetabilisches Gewand mit einem anderen vertauschte[1]). Durch spätere Forschungen wurden die von Geinitz unterschiedenen Vegetationszonen fast in allen carbonischen Schichtensystemen Europas und Amerikas wiedergefunden, und so gewährt uns diese Gliederung ein treffliches Mittel, das Alter einer der Steinkohlenformation angehörigen Kohlenablagerung näher zu bestimmen.

In dem Kulm walten neben einigen Calamiten und Farnen gewisse baumartige Bärlappe oder Lykopodiaceen, vertreten durch die Gattungen Lepidodendron und Knorria, derart vor, dafs der Name Lykopodiaceen- oder Sagenarien-Zone (der letztere Name nach der am häufigsten darin vorkommenden Pflanze Sagenaria Veltheimiana Sternberg) völlig gerechtfertigt ist. In der nächsten Schicht, welche bereits ein Teil der produktiven Steinkohlenformation ist, nehmen die Lykopodiaceen einen ebenso untergeordneten Rang ein wie die Calamiten und Farne; dagegen beherrschen die Sigillarien in so auffallender Weise die damalige

[1]) H. B. Geinitz, Versteinerungen der Steinkohlenformation in Sachsen. Leipzig 1855. Vgl. H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, Die Steinkohlen Deutschlands und anderer Länder Europas. München 1865. Bd. I, S. 6.

Vegetation, daſs diese Zone mit Recht Sigillarien-Zone heiſst. Sie birgt die zahlreichsten und mächtigsten Steinkohlenflöze. Über dem Gürtel der Sigillarien liegt ein anderer, in welchem die Calamiten vorwalten, die sogenannte Calamitenzone. In den obersten Schichten der Steinkohlenformation endlich verschwinden zwar die Sigillarien und Lepidodendren nicht ganz, wie denn auch die Calamiten noch eine groſse Individuenzahl aufweisen; aber die Farne sind durch Individuen- und Artenreichtum in solcher Weise ausgezeichnet, daſs sie für die Zusammensetzung dieser Flöze von besonderer Bedeutung sind, weshalb Geinitz diese Etage die Zone der Farne nennt.

In dem dyassischen Zeitalter bemerken wir bereits eine durchgreifende Veränderung des Pflanzenlebens. Die Lepidodendren und Sigillarien sterben aus; auch die Calamiten und Farne wuchern nicht mehr so üppig wie früher, während Coniferen und Cycadeen die Oberhand gewinnen. In dieser Periode entstanden nur wenige nutzbare Kohlenlager. Schwache, selten abbauwürdige Kohlenflöze enthalten die unteren dyassischen Schichten; man gebraucht für diese Kohle den Namen „Kohle des Rotliegenden“ oder „Permian Coal“. Die obere Dyas, welcher das obere Rotliegende und die Zechsteingruppe angehören, entbehrt der Kohle gänzlich. Entwickelten sich auch am Ende des unteren dyassischen Zeitalters riesige Nadelhölzer (Araucarien), mächtige Baumfarne (Psaronius und Tubicaulis), Cycadeen und Palmen, so lieferten diese doch keine Kohlen, sondern wurden durch eingedrungene Kieselgallert versteinert.

In der mesozoischen Formationsgruppe erreichten die Cycadeen ihren Höhepunkt; sie haben insbesondere an der Bildung triassischer und jurassischer Kohlen einen so hervorragenden Anteil, daſs für diese in den meisten Fällen der Name „Cycadeen-Kohle“ ganz zutreffend ist. In der Trias begegnen wir zwischen dem Muschelkalk und Keuper einer lettenreichen, durch Eisenkies vielfach verunreinigten Kohle, der „Lettenkohle“, welche vorzugsweise aus Arten der Cycadeen-Gattung Pterophyllum und Riesenschafthalmen (Equisetum arenaceum) hervorgegangen ist. Als Brennmaterial ist sie von ganz untergeordnetem Werte; wohl aber eignet sie sich zur Gewinnung von Alaun oder Eisenvitriol.

Die Juraformation besitzt in fast allen Horizonten Kohlenlager und zwar viel nutzbarere als die Trias; insbesondere sind die „Liaskohle“ (in dem Lias) und „Wealdenkohle“ (an der oberen Grenze der Juraformation) hervorzuheben. Die letztere führt bereits in die Kreidezeit hinüber, in deren untersten Schichten sie sich ebenfalls vorfindet. Die Wealdenkohle erweist sich namentlich im nordwestlichen Deutschland (Deister, Bückeburg) und im südlichen England als wertvoll. Im

übrigen ist die „Quaderkohle“, d. i. die Kohle in den mittleren und oberen Stockwerken der Kreideformation, so lettenreich, dafs sich ihre Ausbeute nur an wenigen Stellen lohnt.

Weit reichlicher sorgte die tertiäre Zeit in unserer Heimat für Aufspeicherung von Brennstoffen. Doch war das Material mittlerweile ein ganz anderes geworden; denn neben den Coniferen und Palmen gelangten vor allem die blütentragenden Laubpflanzen oder Dikotyledonen, welche bereits in der mesozoischen Zeit mehr und mehr an Bedeutung gewonnen hatten, zur Herrschaft. Während ferner in den paläozoischen wie mesozoischen Formationen Schwarzkohlen vorwalten, in denen das organische Gefüge der Pflanzen fast ganz verwischt erscheint, treten im känozoischen Zeitalter die Braunkohlen auf, deren vegetabilischer Ursprung sich auch dem Laien beim ersten Anblick sofort verrät. Ihrer Abstammung nach kann man Nadelholz- und Laubholzkohle unterscheiden.

In der Gegenwart endlich wird durch die Torflager noch immer neuer Brennstoff abgesondert. Der Torf ist nur selten von Geröllschichten und Erdmassen überlagert; in der Regel breitet sich blofs die ihn noch fortbildende Pflanzendecke über ihm aus. Manche Torfmoore bildeten sich bereits in der Diluvialzeit, die meisten jedoch in der Alluvialzeit. Torf entsteht nur in stagnierendem Wasser und in diesem besonders dann, wenn sich am Boden des Beckens eine das Wasser nicht durchlassende Schicht aus den Schalen kleiner Wassertiere und den Kieselskeletten der Diatomaceen abgelagert hat (Seekreide der Schweiz). Eine weitere Vorbedingung ist die, dafs sich im Wasser Humussäure entwickelt und die entwickelte nicht wieder durch einen starken Mineralgehalt des zufliefsenden Wassers neutralisiert wird. Endlich sind die zur Torfbildung geeigneten Pflanzen notwendig: Moose, das Wurzelwerk und die Abfälle von Sumpf- und Wasserpflanzen (namentlich von Sumpf- und Riedgräsern), zu denen sich öfter auch Holzpflanzen gesellen [1]). Der Torf ist demnach ein Aggregat von verwesenden und vermodernden Pflanzen, die sich in den mannigfachsten Stadien des an ihnen sich vollziehenden Vermoderungsprozesses befinden, weshalb sich in mächtigen Torflagern auch alle Übergänge von der frischen Pflanzenfaser bis zum Pechtorf verfolgen lassen.

Warum die Kohlen der verschiedenen geologischen Zeitalter hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und infolge dessen auch in ihrem Werte als Brennmaterial so wesentlich differieren, erhellt aus folgender Betrachtung. Die reine Holzfaser, welche den wichtigsten Teil des Pflanzenzellgewebes ausmacht, enthält 52,65 Prozent Kohlen-

[1]) Oswald Heer, Die Urwelt der Schweiz. Zürich 1865. S. 27.

stoff, 5,25 Pr. Wasserstoff und 42,10 Pr. Sauerstoff. Hat die freie Luft ungehinderten Zutritt zu den Pflanzenüberresten, so verbindet sich der Sauerstoff der Atmosphäre mit einem Teile ihres Wasserstoffes und entzieht diesem in Form von Wasser den hierbei sich ausscheidenden Sauerstoff; teilweise verbindet er sich mit Kohlenstoff und entweicht als Kohlensäure. Bei diesem Prozefs, den wir als Verwesung bezeichnen und der im Grunde nichts anderes als eine langsame Verbrennung ist, verschwindet die Pflanze, abgesehen von ihrem Gehalte an unorganischer Materie, vollständig; der kohlenstoffreichere Rest ist der Humus. Ist jedoch die abgestorbene Pflanze ohne Berührung mit der Luft, so geht die Zersetzung, die wir dann Vermoderung (Verkohlung) nennen, viel langsamer und in wesentlich anderer Weise vor sich. Ein Teil des Kohlenstoffes bildet mit Sauerstoff Kohlensäure (= 1 Gewichtsteil Kohlenstoff und $2\frac{2}{3}$ Gew. Sauerstoff), ein anderer mit Wasserstoff Sumpfgas oder Grubengas (3 Gewichtsteile Kohlenstoff und 1 Gew. Wasserstoff), welche beide als Gase sich verflüchtigen, sowie endlich ein Teil des Wasserstoffes mit Sauerstoff Wasser (1 Gewichtsteil Wasserstoff und 8 Gew. Sauerstoff); auch dieses tritt aus der Verbindung aus. Somit ergiebt sich als Endprodukt der Vermoderung eine Abnahme des Wasser- und Sauerstoffes, hingegen eine relative Zunahme des Kohlenstoffes. Besonders wichtig ist hierbei, dafs sich die abgestorbene Pflanze nicht völlig auflöst, sondern die pflanzlichen Elemente sich unter einander vereinigen. Je länger der erwähnte Prozefs anhält, desto mehr vermindern sich natürlich Wasser- und Sauerstoff, während sich gleichzeitig der relative Kohlenstoffgehalt vermehrt.

Die aus unseren Kohlenlagern noch immer hervorbrechenden Gase belehren uns, dafs dieser Vorgang noch jetzt stetig fortdauert und fortdauern wird, bis die Pflanzenmasse in reinen Kohlenstoff umgewandelt ist. Es darf uns nicht wundern, dafs dieses letzte Ziel in den meisten Fällen noch nicht erreicht ist, obwohl Hunderttausende und wahrscheinlich sogar Millionen von Jahren verflossen sind, seitdem z. B. die carbonischen Wälder ihren Untergang gefunden haben; denn bei der ansehnlichen Tiefe der meisten Kohlenlager gelingt es den erzeugten Gasen nicht so leicht, zu entweichen. Da, wo lokale Umstände dies begünstigen, kann der Verkohlungsprozefs örtlich aufserordentlich beschleunigt werden. Es geschieht dies namentlich durch Zerklüftung und Zerstückelung der kohlenführenden Schichten, sowie durch hohe Temperaturen; der letztere Faktor erweist sich namentlich in denjenigen Kohlengebieten wirksam, in deren Nähe glutflüssige Massen die Schichten durchsetzen. Im allgemeinen aber wächst der Kohlenstoffgehalt mit dem Alter der Kohlengesteine; die Länge der

geologischen Zeiträume, während welcher die Pflanzenreste in den Tiefen der Erde liegen, ist demnach in erster Linie entscheidend für ihren Kohlenstoffgehalt. Dies wird durch die nachstehende Tabelle [1]) aufs deutlichste bewiesen.

Geologisches Zeitalter	Kohlengestein	Zusammensetzung in 100 Teilen nach Abzug der Asche		
		Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff u. Stickstoff
Jetztzeit	(Holzfaser)	52,65	5,25	42,10
Diluvium	Torf aus Irland	60,02	5,88	34,10
Tertiär	Braunkohle von Cöln. . .	66,96	5,25	27,76
	Braunkohle vom Meifsner.	72,00	4,93	23,07
	Erdige Braunkohle von Dax	74,20	5,89	19,90
Carbonische Periode	Bituminöse Steinkohle von Saarbrücken	81,62	3,30	14,50
	Cannelkohle von Wigan .	85,81	5,85	8,34
	Hartleykohle von Newcastle	88,42	5,61	5,97
	Bituminöse Steinkohle von Eschweiler.	89,16	3,21	6,45
Carbonische, devonische, silurische Periode	Anthracit	94	3	3
Huronische und laurentische Periode	Graphit	100	0	0

Die Umwandlung der Pflanzenstoffe in Kohle beruht nach alledem auf einer allmählich fortschreitenden Concentrierung desjenigen Kohlenstoffes, welchen die Pflanzensubstanz von Anfang an besafs; Torf, Braunkohle, Steinkohle und Anthracit aber bezeichnen uns nichts anderes als verschiedene Stadien in diesem Prozesse. Daher kommt es auch, dafs Torf und Braunkohle ebensowohl wie Braunkohle und Steinkohle durch alle denkbaren Zwischenstufen mit einander verbunden sind und dafs es in vielen Fällen unmöglich ist, sie streng von einander zu sondern.

Leider ist die Ausbeute der Kohlen mit mannigfachen Gefahren verknüpft. Als die schlimmsten Feinde des Bergmannes gelten die schlagenden Wetter (die fire-damps der Engländer). Aus den Kohlenflözen brechen nämlich beständig Kohlenwasserstoffgase hervor,

[1]) Herm. Credner, Elemente der Geologie. 3. Aufl. Leipzig 1876. S. 260.

welche je nach ihrem Verhältnisse zur atmosphärischen Luft mehr oder minder gefährlich sind. Vermischen sie sich in dem Verhältnis 1 : 30 mit der Grubenluft, so zeigt sich um die Flamme des Grubenlichtes eine schwach bläuliche Färbung; nimmt das Kohlenwasserstoffgas zur Grubenluft das Verhältnis von 1 : 15 an, so wird es brennbar und entzündet sich an der Flamme eines Grubenlichtes, welches ein unvorsichtiger Bergmann geöffnet hat. Am verheerendsten sind die Verpuffungen des Gases, wenn das Verhältnis desselben zur Luft 1 : 9 oder 1 : 8 ist; denn bei 1 : 5 und 1 : 4 ist das Gasgemenge nicht mehr brennbar. In solchem Falle erlöscht das Grubenlicht aus Mangel an Sauerstoff; aber aus gleichem Grunde wirken dann die Wetter erstickend. Häufig erfolgen Gasverpuffungen schlagender Wetter nach einem raschen Falle des Barometers. Sinkt nämlich dieses, so findet eine Erniedrigung des Luftdruckes statt, und die Kohlenwasserstoffgase dringen mit gröſserer Leichtigkeit durch die freieren Klüfte der Kohlenflöze. Bricht Kohlenwasserstoffgas in einer Grube hervor, so ist es noch nicht notwendig, daſs das Wetter von einer Explosion begleitet ist, sondern es muſs zuvor erst eine Entzündung eintreten, welche hervorgerufen werden kann durch einen Pulverschuſs bei den Sprengarbeiten oder durch das Glühendwerden des Drahtnetzes an der Sicherheitslampe, wenn sich Ruſs abgeschieden hat, oder durch unvorsichtiges Öffnen der Sicherheitslampe, sowie durch Verletzung ihrer Gläser.

Entströmen Kohlenoxydgase den Kohlenlagern, so redet der Bergmann von brandigen Wettern. Dieselben verbreiten einen widerlichen Geruch, führen, wenn sie eingeatmet werden, den Tod des Erstickens herbei und sind ebenfalls entzündbar, wenn sie sich in den entsprechenden Verhältnissen mit der Grubenluft mischen [1]).

Das Leben des Bergmannes erscheint also ungewöhnlich gefährdet. Wer nicht beim An- und Ausfahren aus den Gruben verunglückt, läuft Gefahr, unter den einstürzenden Kohlen und Gesteinsmassen begraben zu werden, und wer dieser Gefahr entgeht, begegnet vielleicht einem bösen Wetter.

Die Statistik gewährt uns indessen viel Beruhigendes. In den fünf Jahren 1859 bis 1863 verunglückten in den sächsischen Kohlengruben von je 1000 Arbeitern jährlich 2,72, 2,86, 2,86, 2,53, 3,28. Die sächsische Statistik lehrt uns auſserdem, daſs damals von 100 Unglücksfällen 48,3 durch eigene, 2,3 durch Verschuldung dritter Personen, 12,8 durch zweifelhafte Ursachen, 34,9 ohne eigene, 1,7 ohne äuſsere

[1]) H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, Die Steinkohlen Deutschlands und anderer Länder Europas. Bd. II, S. 156 ff.

Veranlassung und keine durch Schuld der Grubenverwaltung eintraten. Die durchschnittliche prozentale Verteilung der Verunglückungen nach den fünf Hauptklassen der Ursachen zeigt die folgende Übersicht. Es kommen von allen Verunglückungen auf den sächsischen Steinkohlenwerken in den Jahren 1858 bis 1863[1]):

auf Steinfall	46,3	Prozent,
auf Unfälle in Schächten	26,6	"
auf böse Wetter . . .	10,3	"
auf Maschinen	11,3	"
auf sonstige Ursachen .	5,5	"
	100,0	Prozent.

Wie man auf den ersten Blick sieht, wird nur ein verhältnismäfsig kleiner Teil der Unglücksfälle durch böse Wetter, der gröfste Teil hingegen durch Stein- und Kohlenfall herbeigeführt — eine Thatsache, die auch in anderen Ländern, so in Preufsen, England und Schottland, Frankreich und Belgien, durch genaue statistische Aufzeichnungen festgestellt worden ist. Unter den sogenannten „Steinfällen“ versteht man den Einsturz des Hangenden oder des Dachgebirges auf die Sohle des ausgebauten Flözes. Zur Abwendung dieser Gefahr werden allerdings die Gruben verzimmert, d. h. die Decke des Flözes wird durch Holzstempel gestützt; aber selbst bei gröfster Vorsicht ist es geschehen, dafs das Dachgebirge 48—54 Centimeter starke Stempel mit kanonenschufsähnlichen Schlägen zusammengedrückt, geknickt oder umgeworfen und die in der Grube arbeitende Mannschaft erschlagen oder verstümmelt hat. In den Jahren 1858 bis 1863 kam in den sächsischen Revieren auf eine Verunglückung mit tödlichem Ausgang im Durchschnitt eine Produktion von 918 609 Centnern. Nehmen wir an, dafs die Verunglückten durchschnittlich noch 30 Jahre gelebt hätten, so könnten wir sagen, dafs bei jedem Centner Kohle, den wir verbrennen, ein Bergmannsleben um mehr als 17 Minuten verkürzt wird.

Ein glücklicher Umstand in den Lagerungsverhältnissen der Kohle ist ohne Zweifel der, dafs sie meistens in mäfsigen Tiefen vorkommt. Würde sie in der normalen geologischen Tiefe liegen, d. h. hätte sich darüber die vollkommene Reihe aller jüngeren Formationen abgelagert, so wäre die Kohle, insbesondere die wertvollere, der menschlichen Benutzung entrückt. Würde sie aber unmittelbar unter der Oberfläche sich vorfinden, so würde eine sündhafte Verwüstung diese Naturschätze längst schon erschöpft haben. Dadurch dafs bei vorrückender Ausbeute die Förderung immer schwieriger wird, hat die Natur dafür

[1]) H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, l. c. Bd. II, S. 162.

gesorgt, daſs die Menschen bei Zeiten anfangen, haushälterisch zu werden.

Erst der fühlbar werdende Holzmangel, sowie der bedeutend wachsende Konsum von Brennstoffen seit der Verwendung des Dampfes zum Betrieb der Maschinen lieſs den Abbau der Kohle, namentlich der Steinkohle, einträglich erscheinen. Daher war sie bei den Völkern des Altertums nur wenig bekannt und wurde noch seltener von ihnen gebraucht. Die Chinesen brannten allerdings schon im Mittelalter Kohlen; wenigstens berichtet uns Marco Polo, daſs er in den Häusern von Khanbalu Steinkohlen brennen sah, was ihm ganz neu war; die Inder hingegen benützten trotz der reichen Kohlenlager ihres Landes bis zur Ankunft der Europäer noch keine. Im alten Griechenland und Italien wurden wohl wenig Kohlen, sicher aber keine Steinkohlen verwendet, und wenn schon Theophrastus, der im 4. Jahrhundert v. Chr. lebte, die Kohlen als ein von den Schmieden und Erzgieſsern verwertetes Brennmaterial kennt, welches angeblich aus Ligurien und der griechischen Landschaft Elis stammte, so darf man hierbei wohl eher an Braunkohlen als an Steinkohlen denken, da die Lagerungsverhältnisse jener leichter eine frühere Entdeckung gestatteten. Seit 833 hat man Kunde von den englischen Kohlenlagern; im Jahre 1240 wurden die bei Newcastle und 1291 die in Wales und Schottland bergmännisch erschlossen. Seit dem Anfang des 17. Jahrhunderts entfaltete sich der französische Kohlenbergbau bei St. Etienne. Unter den deutschen Kohlenlagern wurden die des Zwickauer Kohlenbassins zuerst (seit dem 10. Jahrhundert n. Chr.) ausgebeutet. Die Metallarbeiter Zwickaus, welche im Mittelalter eine wichtige Rolle spielten und gegen Mitte des 14. Jahrhunderts ihre Werkstätten unterhalb der Stadtmauer hatten, wurden im Jahre 1348 verwarnt, mit Steinkohle zu feuern, da durch ihren Rauch die Luft verpestet werde[1]. Indes war die damalige Kohlenproduktion im Vergleich zu der jetzigen äuſserst geringfügig; jene kostbaren fossilen Schätze sollten noch lange in verborgenen Tiefen ruhen, bis die Erfindung der Dampfmaschine ihre hohe Bedeutung für die Entwicklung von Industrie und Handel klar erkennen lieſs.

Schon in der relativ kurzen Zeit von kaum 100 Jahren hat der Kohlenverbrauch so ungeheure Dimensionen angenommen, daſs man, wenigstens in Europa, auf eine in nicht allzuferner Zukunft liegende Erschöpfung der Kohlenvorräte gefaſst sein muſs. Das vielfach ausgesprochene Wort, daſs die Kultur mit dem Laufe der Sonne von Ost nach West, von der östlichen nach der westlichen Hemisphäre schreite,

[1] H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, l. c. Bd. II, S. 3. 4.

wird sich auch insofern als wahr erweisen, als die Kohlenschätze Amerikas diesem Erdteile einst in noch viel höherem Grade, als dies heute schon der Fall ist, die reichsten Mittel zur Hebung seiner Industrie, seiner Civilisation und Machtstellung an die Hand geben und dies zu einer Zeit, wo in Europa die letzten Reste einer uns aus früheren geologischen Zeitaltern überkommenen Erbschaft zu Ende gehen. Vielleicht sind wir dieser Zeit sogar schon ziemlich nahe. Sir William Armstrong hat in einer im Jahre 1863 zur Eröffnung der Versammlung britischer Naturforscher gehaltenen Rede auf die drohende Gefahr aufmerksam gemacht. Die Kohlenförderung in Grofsbritannien hatte sich damals seit dem Anfang des Jahrhunderts verzehnfacht, seit dem Jahre 1840 verdreifacht. Im Jahre 1861 erreichte sie die ungeheure Höhe von 86 Millionen Tonnen, und zwar war sie damals in den letzten acht Jahren (von 1853 bis 1861) im Jahresdurchschnitt um je 2¼ Millionen Tonnen gewachsen. Bis zu einer Tiefe von 1300 Metern wird wohl schwerlich ein Kohlenschacht getrieben werden; denn im tiefsten Kohlenschacht, in der Nähe von Newcastle bei Monkwearmouth, welcher 600 Meter tief unter die Erdoberfläche und beinahe ebenso tief unter die See hinabführt, herrscht schon eine Temperatur von 84° F. (29° C.). Nach Armstrongs Berechnung würden bei einem jährlichen Verbrauch von 86 Millionen Tonnen die britischen Flöze (ihre Abbaufähigkeit bis 1300 Meter Tiefe vorausgesetzt, welches Mafs für die meisten Lager zu hoch gegriffen sein dürfte,) in 930 Jahren, bei einer jährlichen Steigerung desselben um 2¾ Millionen Tonnen aber schon in 212 Jahren erschöpft sein. In der That hat sich seitdem sowohl in Grofsbritannien wie in den übrigen europäischen Ländern die Kohlenproduktion stetig vergröfsert. In England ist sie in dem Zeitraume von 1862 bis 1875 von 86 Millionen auf 125 Mill. Tonnen gestiegen, im Gebiet des deutschen Zollvereins von 20,6 Mill. auf 40 Mill. T., in Europa überhaupt von 128 Mill. T. auf 205 Mill. Tonnen. Hat nun auch in den letzten Jahren infolge der geschäftlichen Krisis, unter welcher alle Industriestaaten der Erde mehr oder minder leiden, der Kohlenkonsum nicht in derselben Progression wie früher zugenommen und dürfen wir auch den Armstrongschen Berechnungen nicht unbedingten Glauben schenken, da die kubischen Massen der Kohlenflöze sich zur Zeit unmöglich mit Sicherheit feststellen lassen, so bedarf es doch keines besonderen Scharfblickes, schon jetzt sagen zu können, dafs in nicht allzuferner Zukunft jene Quelle reicher Wärmekräfte versiegt, und wohl mögen wir im Interesse künftiger Geschlechter fragen: was dann?[1])

[1]) In den Jahren 1866 bis 1871 wurden auf Gladstones Veranlassung die gewinnbaren Steinkohlenvorräte Grofsbritanniens mit grofser Genauigkeit unter-

Zur Beruhigung der Gemüter erinnert man gewöhnlich an die Kohlenschätze der Vereinigten Staaten, neben denen allerdings Englands Flöze völlig verschwinden. Wenn man nämlich den Kohlenreichtum Belgiens (16 000 Mill. Tonnen) gleich 1 setzt, so beträgt der Kohlenreichtum Frankreichs $1^5/_6$, der britische etwas über 5, der europäische insgesamt $8^3/_4$, genau soviel wie der Vorrat in dem Staate Pennsylvanien, während die fossilen Schätze der amerikanischen Union 111mal so grofs sind als die belgischen. Auch China würde in dieser Hinsicht ein Land der Zukunft sein. Nach F. v. Richthofens Untersuchungen sind die dortigen Kohlenreviere von ungeheurer Ausdehnung. Das von Shansi allein ist dem von Pennsylvanien gleichzustellen [1]). Liegt nun auch in dem Hinweis auf diese Reichtümer ein gewisser Trost, so darf man doch nicht zu hohe Erwartungen von den Kohlenschätzen fremder Länder hegen; denn die allzufernen Kohlen werden durch den Transport zu teuer, als dafs sie wirklichen Nutzen bringen könnten. Jedes Land zieht darum im wesentlichen nur von seinen eigenen Kohlenschätzen Vorteil.

Sir William Armstrong zeigte in dem oben erwähnten Vortrage, dafs die drohende Gefahr durch nichts anderes in ferne Zeiten hinausgerückt werden könne als durch weise Sparsamkeit; hieran zu erinnern sei um so mehr nötig, als jetzt eine gedankenlose Verschwendung herrsche. In England wird der vierte Teil der geförderten Kohlenmasse zum Betrieb von Maschinen verwendet. Nun genügt bei den neuesten und besten Maschinen die Kraft, die sich aus einem Pfund Kohle durch Benützung ihrer Wärmeeffekte gewinnen läfst, um eine Million Pfunde $^1/_3$ Meter hoch zu heben. Durch theoretische Untersuchungen ist jedoch ermittelt worden, dafs die mechanische Kraft, die in einem Pfund Kohle eingeschlossen ist, ausreichen müfste, um das Zehnfache jenes Gewichtes $^1/_3$ Meter hoch zu heben. Daraus ergiebt sich also, dafs in den besten Dampfmaschinen noch immer neun Zehntel des Kohlenverbrauches vergeudet werden; allein man kann annehmen, dafs im Durchschnitt die mittels der Maschinen erzielten Krafteffekte nur den dreifsigsten Teil dessen betragen, was sich zufolge theoretischer Anforderungen bei gleichem Kohlenverbrauch erzielen lassen mufs.

Einer ebenso grofsen Verschwendung machen sich die Metallhütten schuldig. Wo wir überhaupt dicke Rauchwolken aufsteigen sehen, da findet eine sträfliche Verschwendung von Brennstoffen statt;

sucht, und es ergab sich, dafs dieselben nur noch 400 Jahre den Bedarf zu decken im stande wären. Ausland 1876, S. 655.

[1]) Vgl. hierzu den Abschnitt: „Übersicht der nordchinesischen Kohlenfelder“ in F. v. Richthofens China. Bd. II (Berlin 1882), S. 783—792.

denn Rauch ist nichts anderes als Kohlenstoff in Staubform, der, wenn die Verbrennung vollkommen gewesen wäre, ebenfalls hätte oxydiert werden müssen. So geschieht es, dafs im Rauch zwei Drittel des Feuerungsmaterials ungenützt in die Luft gehen und nur dazu dienen, die nahe gelegenen Städte zu verpesten. Sir William Armstrong hofft, dafs in Zukunft eine bessere Ausnützung des Kohlenstoffes bei Maschinen und Hütten durch Siemens' Gasregenerationsöfen und durch den Regenerator in Stirlings Luftmaschine herbeigeführt werde.

Aber nicht blofs in Fabriken wird eine sinnlose Verschwendung mit Kohlen getrieben, sondern auch in den Wohnungen, insbesondere in England durch die offenen Kamine. Man rechnet, dafs in Grofsbritannien auf den Kopf zur häuslichen Erwärmung eine Tonne (= 20 Centner) Kohlen verbraucht wird. In einem offenen Kamin hat man fünfmal so viel Kohlen zur Erwärmung eines Zimmers nötig als in einem gut gebauten und geschlossenen Ofen. Wenn also 35 Millionen Tonnen Kohlen jährlich in den britischen Kaminen verzehrt werden, so dienen 28 Millionen darunter nicht zur Erwärmung, sondern nur dem Luxus, ein helles Feuer im Zimmer zu sehen [1]).

Da die Kohlen zu einem nicht unwesentlichen Teile die Gröfse und Leistungsfähigkeit einer gewerbthätigen Nation bedingen, so würde sich uns im Hinblick auf kommende Geschlechter eine wenig erfreuliche Perspektive eröffnen, wenn nicht die Kräfte, welche gegenwärtig die Steinkohle liefert, in Zukunft irgendwie ersetzt werden könnten. Noch vor wenig Jahren war man in dieser Hinsicht zu ernsten Bedenken berechtigt. Glücklicherweise hat uns jedoch die Wissenschaft in jüngster Zeit Bahnen gezeigt, auf denen ein aufserordentlich grofser, ja fast unerschöpflicher Schatz arbeitsfähiger Naturkräfte und somit ein genügender Ersatz für die Kohle erlangt werden kann.

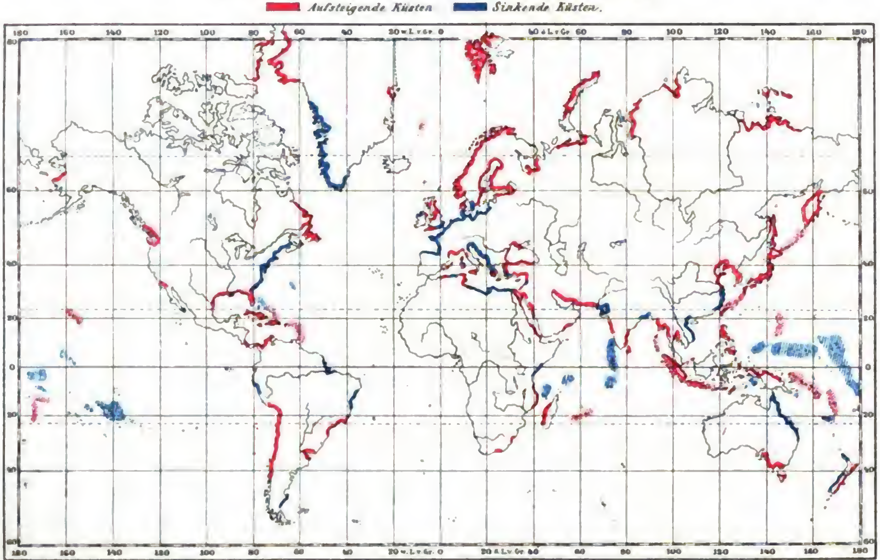
Über die Erde ergiefst sich an jedem Tage ein reicher Strom von Sonnenkräften. Eine beträchtliche Menge derselben wird dazu verwandt, flüssiges Wasser in Dampfform überzuführen und die Dämpfe in bedeutende Höhen emporzuheben. Indem sich hier das Wasser wieder verdichtet und dann als Regen herabsteigt, wird Sonnenkraft in Fallkraft des fliefsenden Wassers umgewandelt. Diese aber ist ein erstaunliches Arbeitskapital. So repräsentiert das Gefäll des Rheins von Basel bis zur Mündung etwa eine Kraft von einer Million Pferdestärken, und den 50 Meter hohen Niagarafällen, in denen stündlich eine Wassermasse von etwa 100 Millionen Tonnen Gewicht herabstürzt, wohnt eine Arbeitskraft von c. 18 Millionen Pferdestärken inne.

[1]) Vgl. O. Peschels Bericht über Sir William Armstrongs Rede im Ausland 1863, S. 906 f.

Nun ist die Gesamtsumme aller auf der Erde wirkenden Maschinenkräfte ungefähr 20 Millionen Pferdestärken gleich. Wäre es demnach möglich, die ganze Kraft der Niagarafälle etwa durch Turbinen oder sonstige hydraulische Motoren auf rotierende Achsen zu übertragen und ohne Verlust nach den verschiedensten Gebieten der Erde fortzuleiten, so würden uns die Niagarafälle allein nahezu einen Ersatz gewähren für die gesamten gegenwärtigen Arbeitsleistungen der Kohle. Natürlich würde man selbst unter den günstigsten Verhältnissen nur einen Teil der ursprünglichen Kraft den menschlichen Zwecken dienstbar machen können; aber bei der überreichen Fülle von Naturkräften dürfte auch schon ein geringer Bruchteil derselben den menschlichen Anforderungen vollkommen genügen. Könnten doch neben den Wasserströmungen auch die Luftströmungen ganz anders ausgenützt werden, als dies bisher geschehen ist! Endlich würden auch die Millionen Tonnen Wassers, welche bei der täglich zweimaligen Schwellung des Meeres, der sogenannten Flut, durch Mond und Sonne emporgehoben werden, eine Kraft liefern, welche stark genug wäre, sämtliche Maschinen der Erde in Bewegung zu erhalten.

Längst schon hatte man die Bedeutung der erwähnten Kräfte hinreichend gewürdigt; aber es fehlte die Möglichkeit, ihre Energie beliebig zu verwenden und in die gröſseren Industriemittelpunkte zu leiten. Erst gegenwärtig ist man im stande, mit Hilfe der elektrodynamischen Maschinen die Kräfte der Ströme und des Meeres in Elektricität umzusetzen und sie so durch eiserne oder kupferne Leitungsdrähte den mehr oder weniger entfernten Werkstätten zu übermitteln, in denen wiederum dynamo-elektrische Maschinen den elektrischen Strom in mechanische Arbeit zurückverwandeln. So bereiten sich gegenwärtig die groſsartigsten Umwälzungen in unserem industriellen Leben vor. Hierdurch wird der Kohlenverbrauch nach und nach beträchtlich vermindert werden, und wenn einst die Kohlenschätze der Erde zur Neige gehen, so werden sie vielleicht auch völlig entbehrlich erscheinen. Da die elektrischen Ströme, welche uns Arbeitskraft liefern, auch zur Erzeugung von Licht und Wärme benützt werden können, so hat das einstige Verschwinden der Kohle sicherlich nicht den Untergang der modernen Civilisation zur Folge.

Gebiete seculärer Hebung und Senkung.



Aus Peschel-Leipoldt, Phys. Erdkunde. 2. Aufl.

F. A. Brockhaus' Geogr.-artist. Anstalt, Leipzig

Fig. 47.

VIII. Über das Aufsteigen und Sinken der Küsten[1]).

(Vgl. hierzu Fig. 47.)

Unsere vertrauenswürdigsten Landkarten, selbst solche, die aus einer Verdichtung von topographischen Blättern entstanden sind, gewähren uns doch nur Gemälde von vergänglicher Wahrheit. Auf dem Antlitz unseres Planeten ruht nämlich noch nicht eine tödliche Erstarrung, sondern es verändert noch fortwährend seine Züge, insofern die Umrisse der Inseln und Festlande beständig schwanken, hier sich verkürzen, dort sich ausdehnen, und zwar mitunter so beträchtlich, daſs sich schon in historischen Zeiten vieles anders gestaltet hat. Auch entgingen diese Verwandlungen nicht den ältesten Beobachtern, obgleich man sich meistens damit begnügte, die örtlichen An- oder Abschwemmungen von Land durch die strömende oder brandende See aufzuzählen. Schon seit Jahrhunderten hatten die Anwohner der schwedischen Küsten wahrgenommen, daſs das Baltische Meer, wie sie meinten, sich vom Lande zurückziehe. Celsius und Linné lieſsen Zeichen bei Gefle und Kalmar in Stein hauen, um die Fortdauer dieser Erscheinung bestätigen und messen zu können, während fast gleichzeitig ein jetzt vergessener verdienstvoller Beobachter, der österreichische P. Hell, um 1749 ein Zurückweichen des atlantischen Seespiegels auch an der norwegischen Küste bei Maasö, in der Nähe des Nordkaps, ankündigte. Als Leopold v. Buch 1807 von Magerö aus durch Lappland den Bottnischen Meerbusen erreicht hatte und an der schwedischen Küste südwärts reiste, hörte er allenthalben bestätigen, daſs die See beständig von ihren Ufern zurückweiche, und

[1]) Der obige Abschnitt, welcher zuerst im Ausland vom 6. August 1867 erschien, ist O. Peschels „Neuen Problemen“ (3. Aufl. Leipzig 1878. S. 97—114) entlehnt. Er ist dem jetzigen Stande der Forschung entsprechend durch zahlreiche Zusätze erweitert worden.

er selbst fuhr auf Kunststrafsen über Gebiete, die noch ältere Leute als Meeresbuchten gekannt hatten. Bis zu seiner Zeit hatte man in diesem Vorgange nichts wahrgenommen als ein Sinken des Seespiegels; aber wäre diese Erklärung die richtige gewesen, so würde man an allen Küsten der Erde ein gleichmäfsiges Wachsen haben wahrnehmen müssen. Leopold v. Buch überraschte zuerst die gelehrte Welt mit der Behauptung, dafs weder der baltische, noch der atlantische Seespiegel ihren Gleichgewichtsstand verändern könnten, sondern dafs sich ganz Skandinavien aus dem Schofse des Meeres hebe [1]).

So unvorbereitet für diese neue Anschauung waren damals selbst fachkundige Männer, dafs 15 Jahre später v. Hoff in einer gekrönten Preisschrift über die natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche behaupten durfte, dafs die angebliche Hebung der baltischen Küsten nichts weiter sei als ein Versandungsvorgang, den man mifskennen wolle [2]). Selbst Sir Charles Lyell bestritt noch in den drei ersten Ausgaben seiner „Principles of Geology" L. v. Buchs Erklärung und widerrief erst später feierlich, als er sich an Ort und Stelle von ihrer Richtigkeit überzeugt hatte [3]). Bis vor kurzem war die unendliche Mehrheit der Geologen und der Erdkundigen, und unter ihnen anerkannte Meister und hochgeachtete Lehrer, einstimmig darüber, dafs ein Aufsteigen von Küsten wirklich stattfinde, für welches sie den Kunstausdruck der seculären Erhebung geschaffen haben, weil sie so langsam erfolgt, dafs ihre senkrechte Wirkung kaum einen Meter im Laufe eines Jahrhunderts beträgt. Seitdem jedoch erwiesen ist, dafs das Niveau des Oceans keineswegs feststeht und somit auch keine sichere Basis für unsere Messungen ist, wird von vielen Gelehrten und auch von hervorragenden Männern der Wissenschaft das Vorkommen seculärer Hebungen und Senkungen durchaus bezweifelt

[1]) Leopold v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland. Berlin 1810. Bd. II, S. 291. Hier lesen wir: „Gewifs ist es, dafs der Meeresspiegel nicht sinken kann; das erlaubt das Gleichgewicht der Meere schlechterdings nicht. Da nun aber das Phänomen der Abnahme sich gar nicht bezweifeln läfst, so bleibt, so viel wir jetzt sehen, kein anderer Ausweg als die Überzeugung, dafs Schweden sich langsam in die Höhe erhebe." Schon vorher hatten Playfair (1802) und der Däne Jessen (1763), wenn auch weniger bestimmt als L. v. Buch, geäufsert, dafs nicht das Meer sinke, sondern Schweden sich erhebe; doch sind diese Äufserungen L. v. Buch gänzlich unbekannt geblieben. A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. I, S. 473, Anm. 20.

[2]) K. E. A. v. Hoff, Geschichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche. Gotha 1822. Bd. I, S. 447.

[3]) Sir Charles Lyells gründliche Arbeit über diesen Gegenstand findet sich in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CXXV (1835), p. 1—38.

und die fortdauernde Verschiebung der Land- und Meergrenzen lediglich dem Wechsel des Seespiegels zugeschrieben.

In der That verharrt die Meeresoberfläche nicht in gleichem Niveau. Durch die anziehende Kraft der Ländermassen werden die oceanischen Wasser an den Rändern der Kontinente emporgehoben (vgl. S. 168—170) und zwar um so mehr, je gröfser jene Ländermassen sind. Demnach würde eine Hebung des Landes in der Regel von einem Anschwellen des Meeres, eine Senkung hingegen von einem Fallen des Meeresniveaus begleitet sein. Hierdurch würde die scheinbare Gröfse der Hebungen und Senkungen beträchtlich verringert, und es dürfte sehr schwierig sein, den wahren Hebungs- und Senkungsbetrag zu ermitteln. Ferner können ansehnliche Flufs- und Meeresablagerungen an der Küste ein Emporsteigen des Seespiegels, also ein scheinbares Sinken des Landes bewirken. In gleicher Weise mögen, wie dies Albrecht Penck[1]) neuerdings dargethan hat, die polaren Eisanhäufungen während der Eiszeit im hohen Norden eine Erhöhung der Meeresfläche hervorgerufen haben. Indem Penck annimmt, dafs damals Nordeuropa und Nordamerika samt den benachbarten Meeresräumen von einer 490 000 geogr. Quadratmeilen grofsen, 1000 Meter mächtigen Eisschicht bedeckt war, findet er an dem Rande derselben eine Erhebung des Meeresniveaus von 90 Metern. Dieser Wert ist jedoch sicherlich viel zu grofs; denn ein im Mittel 1000 Meter mächtiges Firn- und Gletschergebiet von solcher Ausdehnung liegt nach allen in der Gegenwart gesammelten Erfahrungen aufserhalb des Bereichs der Möglichkeit. Aufserdem aber hat Zöppritz[2]) durch genauere Berechnung festgestellt, dafs, selbst wenn Pencks Voraussetzungen zutreffen sollten, jenes Ansteigen des Meeresspiegels am Rande der Eiskalotte statt 90 nur 70 Meter ausmachte. Da jedoch durch die polare Eisanhäufung dem Ocean 1,9 Prozent mehr Wasser entzogen wurde als gegenwärtig, so mufste die Meeresfläche gleichzeitig um 66,5 Meter sinken, falls nämlich die Vergletscherung am Südpol damals dieselbe war wie jetzt. Es lassen sich also auf diesem Wege die gröfseren Niveauschwankungen des Oceans in nordischen Gegenden kaum befriedigend erklären.

Noch schärfer als Penck tritt Suefs[3]) der Lehre von den secularen Hebungen und Senkungen des Landes entgegen. Indem Suefs auf die weitausgedehnten Hebungsräume des Nordens hinweist, gelangt

[1]) Schwankungen des Meeresspiegels. München 1882. S. 24—37.

[2]) Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. IX (1882), S. 540.

[3]) Verhandlungen der K. K. geologischen Reichsanstalt in Wien 1880, S. 171—180.

er zu dem Schlufs, dafs es sich nach den gegenwärtigen Beobachtungen nicht mehr um Erhebung kleinerer Räume, sondern der ganzen nördlichen Polarkalotte bis an den Rand der Tropenzone herab handele. Da das letztere nun schlechterdings nicht denkbar ist, so führt Suefs jene Hebungen auf fortdauernde Wandelungen in der Gestalt der flüssigen Hülle unseres Erdkörpers zurück, und zwar ist er geneigt, die Verschiebungen der Land- und Wassergrenzen aus Änderungen in der Rotationsgeschwindigkeit der Erde abzuleiten. Vermehrt sich dieselbe, so streben die Wasser lebhafter vom Pol gegen den Äquator hin: die äquatorialen Küsten tauchen dann hinab, und die polwärts liegenden scheinen sich zu heben.

Eine solche Deutung zeigt sich jedoch bei näherer Prüfung ebenfalls nicht stichhaltig. Es dürfte nicht allein sehr schwer werden, die zahlreichen, mit dieser Hypothese nicht in Einklang stehenden Hebungen und Senkungen zu rechtfertigen, sondern es hat auch nachweisbar seit Jahrtausenden keinerlei Beschleunigung der Rotationsgeschwindigkeit stattgefunden. Endlich aber würde, selbst wenn eine solche eingetreten wäre, auch der starre Erdkörper eine dem veränderten Meeresniveau entsprechende Umbildung erlitten haben und so die erwarteten Hebungen und Senkungen vermissen lassen (vgl. S. 302).

Unsere Überzeugung ist es, dafs sowohl das Niveau des Meeres als auch das des Landes an vielen Punkten der Erde in langsamem, aber stetem Wechsel begriffen ist. Vielleicht möchte es deshalb, wie es Suefs [1]) thut, zweckmäfsiger erscheinen, neutrale Ausdrücke zu wählen und von negativen und positiven Niveauschwankungen zu reden, wobei erstere das Zurückweichen der See, also Hebung des Landes, letztere das Vordringen des Meeres, also Senkung des Landes bezeichnen. So lange es jedoch erlaubt ist, vom „Auf- und Untergang der Sonne“ zu reden, dürfte es auch gestattet sein, sich der bisher gebräuchlichen Ausdrücke zu bedienen, zumal wohl in erster Linie wirkliche Hebungen und Senkungen an den Verschiebungen der Meeresufer beteiligt sind. Die gewaltigen Verbiegungen und Verwerfungen der Erdschichten bezeugen es auf das klarste, dafs in jedem geologischen Zeitalter das Oberflächenniveau der Erde gefaltet, also örtlich bald hinabgezogen, bald aufgerichtet ward. Warum sollte gegenwärtig, wo sich der Erdkörper infolge fortgesetzten Wärmeverlustes noch immer verdichtet, die feste Erdkruste absolut starr sein? Sind wir nicht im Gegenteil angesichts solcher Verhältnisse zu der Annahme gezwungen, dafs auch jetzt noch die äufsere Hülle des Erdballs sich in Falten dem mehr und mehr zusammenschrumpfenden

[1]) l. c. S. 173.

Erdkörper anschmiegt und so örtlich bald nach oben, bald nach unten gedrängt wird?

Daher haben die neueren Geologen mit Begierde die Lehre von der Hebung und Senkung der Kontinente erfaſst; denn jetzt erst konnten sie sich erklären, wie Gebirgsarten, die durch eingeschlossene Versteinerungen von Salzwasserfischen und Salzwassermuscheln sich unverkennbar als unterseeische Schöpfungen verrieten, so hoch erhoben werden konnten, daſs sie bisweilen die Kämme und Ränder hoher Gebirge bilden, ja hin und wieder selbst die Gipfel von granitischen Centralketten noch überragen. Es wurde ihnen jetzt auch leicht, in der Höhe trockener Abhänge die Spuren von Auswaschungen durch Meereswogen oder die Reste eines ehemaligen Seestrandes, ja an günstig gelegenen Orten eine Flucht von Stufen zu erkennen, die amphitheatralisch an den Rändern von Buchten aufsteigen und von denen jeder Absatz eine Pause im Aufwärtsschweben der Küste bezeichnet.

Richten sich an manchen Stellen die oceanischen Ufer auf, so darf man schon von vorn herein auch Senkungserscheinungen erwarten, durch welche die Hebungen kompensiert werden. Als Charles Darwin auf seiner Fahrt um die Erde (1831 bis 1836) mit Fitzroy die Bildung der Koralleninseln (Atolle) in der Südsee und im Indischen Ocean genauer untersuchte, fand er die Beweise, daſs, so weit sich jene niedrigen Inseln erstreckten, die unterseeische Flur, von welcher sie emporgewachsen waren, gesunken sein müsse. Er schloſs dies bekanntlich aus der beobachteten Thatsache, daſs die Riffkoralle nur im seichten Meereswasser, höchstens in Tiefen von 40 bis 50 Metern lebt und von einer Berührung mit der Luft getötet wird. Da nun nach Darwin die Korallenriffe in weit gröſsere Tiefen hinabzuführen pflegen, so muſste an jenen Stellen der Meeresboden beträchtlich gesunken sein. Diese Behauptung war nicht völlig unanfechtbar (vgl. S. 389); doch gelang es damals, im hohen Norden auch einen klaren sinnlichen Beweis für eine vor sich gehende Senkung zu erhalten. Um die nämliche Zeit, wo Darwin auf den Keeling-Inseln dem Bau der Atolle nachsann, entdeckte der Däne Pingel, daſs sich die Westküste von Grönland langsam in die Davis-Straſse hinabsenkt, seitdem sie von Europäern bewohnt wird; denn Pfähle, an denen sie ihre Fahrzeuge ehemals zu befestigen pflegten, waren mit ihren Köpfen unter das Wasser gesunken [1]).

[1]) Schon Arctander machte zwischen den Jahren 1777 und 1779 eine ähnliche Wahrnehmung an der Westküste Grönlands, die jedoch wenig beachtet worden zu sein scheint. Er erfuhr in dem Fjorde Igalliko (60° 43′ n. Br.), daſs ein kleines felsiges Eiland in der Nähe der Küste zur Flutzeit fast gänzlich unter Wasser stünde, während sich doch darauf die Mauern eines ansehnlichen Hauses befänden. Offenbar lag hier eine Senkung vor; denn niemand wird auf

Hier besafs man also in dem seculären Untertauchen einer Küste das Gegenstück zu der skandinavischen Hebung.

Man beachte indessen, dafs es sich hier um ein langsames **Sinken** handelt, welches vielleicht anderen Kräften zugeschrieben werden mufs als die jähen und plötzlichen Einstürze in der Nähe vulkanischer Herde. Die Trümmer des berühmten Serapistempels bei Pozzuoli, insbesondere drei den Stürmen der Zeit noch nicht gewichene Marmorsäulen (s. Fig. 48), sind eine sehr leserliche Urkunde, dafs sich dort bedeutende Niveauveränderungen in kurzen Zeiträumen vollzogen haben. Eine Inschrift bezeugt uns, dafs jener Tempel schon im Jahre 105 v. Chr. stand; zu dieser Zeit mufs natürlich der Baugrund höher als der Meeresspiegel gelegen haben. Noch im Jahre 235 n. Chr. befand er sich auf dem Lande; denn damals liefs der Kaiser Alexander Severus den Tempel mit kostbaren Marmorarbeiten schmücken. Hierauf begann die Senkung. In der Zeit zwischen dem 3. und 16. Jahrhundert waren die Säulen bis zu 4 Meter Höhe von Schutt umlagert, und über dieser Schuttdecke breitete sich noch eine 3 Meter tiefe Wasserschicht aus. Rechnet man noch die Höhe der Sockel hinzu, so ergiebt sich hieraus eine Senkung des Bodens von $7^1/_2$ Metern. Dafs der Seespiegel wirklich einst bis zu $7^1/_2$ Meter Höhe an den Säulen emporgereicht habe, wird durch einen Gürtel von Bohrlöchern bewiesen, der allen drei Säulen gemeinsam ist und der $4^1/_2$ bis $7^1/_2$ Meter die jetzige Meeresfläche überragt. Diese Löcher rühren von Muscheln (Mytilus lithophagus L.) her, deren Gehäuse leider von gewissenlosen Sammlern als Merkwürdigkeiten geraubt worden sind. Nach den Berichten älterer Urkunden gewann schon am Beginn des 16. Jahrhunderts das Land der See wieder einigen Raum ab; eine ansehnliche und ziemlich rasche Hebung trat jedoch erst am 29. September 1538 ein, als in der Nähe der Monte Nuovo aufstieg. Jetzt bespült das Meerwasser nur noch den Fufs der Säulen; der Seespiegel ist somit wieder gesunken, wenn auch nicht völlig auf den Tiefenstand wie zur Zeit, wo der Tempel errichtet

Fig. 48.



Ruinen des Serapistempels bei Pozzuoli.

den Gedanken verfallen, auf einer vom Meere überfluteten Klippe ein Haus zu errichten. Als Pingel ein halbes Jahrhundert später diese Insel besuchte, war das Ganze so weit versunken, dafs blofs die Ruinen aus dem Wasser hervorragten. Poggendorffs Annalen. Bd. XXXVII (1836), S. 446 f.

wurde [1]). Mit solchen vergleichsweise hastigen Zuckungen der Erdoberfläche in der Nähe vulkanischer Gebiete auf beschränkten Örtlichkeiten haben wir es weniger zu schaffen. Vielleicht würde es auch besser sein, nur gelegentlich den Einbruch des Runn von Cutch, östlich vom Indusdelta, zu erwähnen, der 1819 plötzlich erfolgte und beinahe 100 deutsche Quadratmeilen Land hinabschlang [2]). Da nämlich gleichzeitig ein benachbarter Teil der Küsten emporstieg, so ist dort eher der Sitz jäher als jener sanften seculären Thätigkeiten zu vermuten, mit denen wir zunächst uns zu beschäftigen haben.

Die Aufgabe der vergleichenden Erdkunde ist es nun, die Küstenstellen aufzusuchen, von denen es sich nachweifsen läfst, dafs sie gehoben werden oder sinken, und dann zu fragen, ob sich nicht irgend welche allgemeine oder wenigstens häufige Merkmale dieses Vorganges auffinden lassen, so dafs ein geschärftes Auge schon an gewissen Äufserlichkeiten der Küsten den Hergang zu erkennen vermöge und die Landkarte dadurch die Reize eines historischen Gemäldes erhalte, auf dem wir an den Umrissen der festen Räume selbst das Schauspiel stiller, sich bewältigender, hier siegreicher, dort unterliegender Kräfte belauschen könnten. Bevor wir aber die bisher beglaubigten Thatsachen mustern, müssen wir überlegen, zu welchen Erwartungen wir überhaupt berechtigt sind. Europa wird uns wahrscheinlich als das unruhigste aller Festlande erscheinen. Dies kann daher rühren, dafs es am reichsten gegliedert ist und die höchste Küstenentwicklung besitzt; doch ist es wohl bescheidener und geratener, anzunehmen, dafs Europa deswegen so unruhig erscheint, weil es unter der schärfsten Aufsicht, unter der Polizei einer zahlreichen Geologenschar steht. Ferner müssen wir erwarten, dafs Hebungen viel öfter nachgewiesen werden als Senkungen; denn bei Hebungen kann die versäumte Beobachtung immer wieder nachgeholt werden, da die Spuren ehemaliger Strandlinien und eines höheren Seespiegels sich nicht so rasch verwischen, sondern durch die Überreste von Seetieren, durch die charakteristischen Verwüstungen brandender Wogen oder durch eigentümliche Gestaltungen der Ufer sich immer wieder neu verraten werden. Wo aber Küsten sinken, da bedeckt das Wasser gewöhnlich die Wahrzeichen ihrer ehemaligen Erhebung in den Luftkreis. Ein Blick auf das beigegebene Kärtchen (Fig. 47) läfst dies in der That sofort erkennen.

[1]) O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausgeg. von J. Löwenberg). Leipzig 1878. Bd. II, S. 529 ff.

[2]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p. 98 sq.

Wir beginnen nun unsere Wanderung bei Südamerika, begeben uns dann nach dem Norden der Neuen Welt und nach Grönland und mustern hierauf das Stille Meer, das uns hinüberführt nach der Alten Welt. Hier sollen uns zuerst die arktischen Gebiete beschäftigen, worauf wir die Ost- und Südseite Asiens begleiten, um nach einem Exkurs an die Ostküsten Afrikas durch das Rote und Mittelländische Meer den Weg nach dem Norden Europas zu nehmen.

An der Westseite Südamerikas scheint die patagonische Küste abwärts zu schweben, da, wie uns Philippi belehrt, auf den Chonos-Inseln früher Muschelbänke an Stellen sich ausbreiteten, wo später (zu Philippis Zeit) tiefes Fahrwasser angetroffen wurde[1]. Von der Insel Chiloë an hingegen finden wir an der Westküste fast durchgängig Merkmale eines Aufsteigens. Die frühesten Nachrichten darüber verdankt die Wissenschaft Eduard Pöppig[2], der in den Jahren 1827 bis 1832 Südamerika von West nach Ost durchwanderte. In der Bai von Concon (nördlich von Valparaiso) sammelte er im Jahre 1828 die begründeten Aussagen von Fischern, dafs sich seit 1822 der Boden der See um mindestens 2 Meter gehoben habe. Er selbst suchte häufig bei niedrigen Ebben nach Seegeschöpfen, besonders nach den so zierlichen Chitonen, wo die Fischer 6 Jahre vorher selbst bei sehr niedrigem Wasserstande nicht zu fufsen vermochten. Bald nach Pöppig betraten Fitzroy und sein geologischer Begleiter Darwin den nämlichen Schauplatz. Darwin entdeckte auf der Insel Chiloë alte Strandlinien 100 Yards ($91\frac{1}{2}$ Meter) über dem jetzigen Seespiegel[3]. Auch führen hier eine Anzahl Vorgebirge bei den Eingeborenen den Namen Huapi[4], der sonst Inseln bedeutet; man darf

[1]) Monatsberichte der Berliner Ges. für Erdk. Alte Folge. Bd. II (1840), S. 47. Wenn Charles Darwin berichtet, dafs er auf denselben Inseln Lager von recenten Muscheln in ansehnlicher Höhe über der Flutgrenze beobachtete, so haben wir uns zu denken, dafs der jetzigen Senkung eine Hebung vorausging.

[2]) Reise in Chile, Peru und auf dem Amazonenstrome während der Jahre 1827 bis 1832. Leipzig 1835. Bd. I, S. 141.

[3]) Fonck hält die Muschellager auf Chiloë für eine Art Kjökkenmöddinger (Petermanns Mitteilungen 1866, S. 467) und begründet dies dadurch, dafs die Eingeborenen noch jetzt die Meeresprodukte nach ihren Hütten bringen, dort sie zubereiten und verzehren und die Reste neben ihren Hütten aufhäufen. Für die Muschelansammlungen an den weiter nordwärts gelegenen Gestaden ist eine derartige Erklärung nicht zulässig. Vgl. hierzu F. G. Hahn, Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten. Leipzig 1879. S. 83. 86.

[4]) Wir schreiben absichtlich Huapi (nicht Hapui) und folgen darin Darwin und Reclus (La Terre. Paris 1868. Tome I, p. 787). Ebenso belehrt

daher vermuten, dafs sie ursprünglich in der See lagen und später am Lande fest wurden. Ferner erheben sich nach Darwin alte Strandlinien in Chile nördlich von Concepcion zu 200 bis 250 Yards (183 bis 229 Meter), bei Valparaiso bis zu 400 Yards (366 Meter) und senken sich dann allmählich bis zur bolivianischen Küste, wo ihre Erhebung nur noch 60 bis 70 Yards (55 bis 64 Meter) beträgt [1]). Wir wissen sogar, dafs sich der Hebungsakt dort noch in neuerer Zeit weiter vollzieht. So berichtet uns Weyman, dafs an einem Punkte bei Valdivia das Wasser im Jahre 1820 nur noch eine Tiefe von 0,6 Meter hatte, wo 60 bis 70 Jahre vorher sechs holländische Linienschiffe vor Anker gegangen waren [2]). Fitzroy bestätigte das Aufsteigen der kleinen Insel Santa Maria, die nicht weit von der Küstenstelle liegt, wo die Grenze zwischen Chile und Araucanien das Meer erreicht. Bei Penco (an der Bai von Concepcion) fand Darwin Beweise, dafs das Aufsteigen der Küste seit 1751 4 Faden ($7^1/_3$ Meter) betragen habe. Ferner erkannte Weyman im Jahre 1842, dafs zwei Strafsen bei Valparaiso eine Stelle einnehmen, welche 1817 noch vom Meere überflutet war [3]).

Auch nördlich von Chile sind Merkmale von einer Erhebung der Küste vorhanden. Bei dem bolivianischen Hafen Cobija und dem peruanischen Iquique weicht die See zurück; ja bei dem noch nördlicheren Arica hat sich die Strandlinie in 40 Jahren um 160 Yards (146 Meter) in die See geschoben, so dafs der Verladungsplatz hat verlegt werden müssen. Die merkwürdigsten Thatsachen aber sind von Darwin bei Callao oder vielmehr auf der vor diesem Hafen liegenden Insel San Lorenzo gesammelt worden. Dort, 85 engl. Fufs (26 Meter) über dem jetzigen Seespiegel, fand der britische Naturforscher Muschelbänke, und aus diesen Muscheln brach er einen Maiskolben und einen baumwollenen Faden heraus; folglich hat dort eine senkrechte Erhebung um mindestens 26 Meter stattgefunden, seit dort an der Küste Mais gebaut und Baumwolle versponnen wurde. Bei Callao jedoch scheint nicht blofs das Aufsteigen der Westküste seine Grenze zu finden, sondern bereits die Bewegung in ihr Gegenteil, nämlich in ein Sinken übergegangen zu sein; denn Callao selbst, eine Schöpfung, die kaum 300 Jahre zurückreicht, taucht ins Meer hinab; wenigstens stehen Teile des Stadtgebietes bereits unter Wasser. Durch

uns Darwin, dafs nicht Vorgebirge von Bolivia, sondern der Insel Chiloë diesen Namen tragen. Charles Darwin, Geologische Beobachtungen über Südamerika. Übersetzt von J. Victor Carus. Stuttgart 1878. S. 40 ff.

[1]) Ausführliches hierüber findet man bei Ch. Darwin, l. c. S. 39 ff.

[2]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1842, p. 137.

[3]) l. c. p. 137.

einen Vergleich alter Karten mit neueren ist v. Tschudi zu der Schlufsfolgerung gelangt, dafs auch südlich von Callao die Küste gesunken sein müsse. Wahrscheinlich nimmt die Insel San Lorenzo an dieser Senkung teil; doch steht jedenfalls so viel fest, dafs die Erhebung derselben den Betrag neuerdings eingetretener Senkung um 26 Meter übertroffen haben mufs [1]).

Für die Strecke Callao-Panama lassen sich keinerlei Niveauveränderungen mit Sicherheit nachweisen.

Von den übrigen südamerikanischen Küsten haben wir meist nur unbestimmte Nachrichten. So soll bei Colon (Aspinwall) ein Steigen der Küste wahrgenommen worden sein, und in den Lagunen von Santa Marta (Colombien) sprechen recente Muschelbänke gleichfalls für eine Hebung des Ufers. Dafs das Land sehr rasch an der Küste von Britisch-Guyana, wahrscheinlich jedoch nur infolge von Anschwemmungen, wachse, werden wir später bei einer anderen Gelegenheit noch zu erwähnen haben. In Brasilien ist das Mündungsgebiet des Amazonas, sowie die Küste um Bahia eines Sinkens verdächtig; doch bilden die atlantischen Ufer zwischen Rio de Janeiro und der Provinz Rio Grande do Sul wahrscheinlich ein weites Hebungsfeld. Hier begegnet man nämlich, wie G. S. de Capanema ausführlich dargethan hat [2]), Muschelhügeln („Sambaquis“), die sicher durch Menschenhand zusammengetragen worden sind. Nun aber wurden nach de Capanema die gefangenen Seetiere gleich am Meere zugerichtet und verzehrt; die Sambaquis bezeichnen uns demnach ebenso wie die Strandlinien den ehemaligen Meeressaum. Da sie von de Capanema weit im Innern des Landes aufgefunden worden sind, so erscheint die Annahme gerechtfertigt, dafs das Meer hier zurückweicht, also die Küste sich hebt. Doch dürfte der Hebungsbetrag im Jahrhundert kaum auf mehr als $^1/_2$ Meter geschätzt werden. An beiden Ufern der Laplatamündung sah Darwin in beträchtlicher Höhe über dem Strome reiche Mengen von Seetieren, welche heute noch das Brackwasser an der Mündung des Laplata bewohnen (ein Mytilus, Mactra Isabellei, Venus sinuosa, Azara labiata u. a.) [3]); hier mufs demnach in der geologischen Gegenwart eine Aufrichtung erfolgt sein. Ob dieselbe jetzt zum Stillstand gekommen ist oder sich bereits in ihr Gegenteil, in ein Sinken verwandelt hat, läfst sich mit keinerlei Sicherheit angeben. Doch wird allgemein angenommen, dafs die Ostküste von Patagonien wieder hinabtaucht unter den Spiegel des Oceans,

[1]) Charles Darwin, l. c. S. 71 ff.
[2]) Petermanns Mitteilungen 1874, S. 228—230.
[3]) Charles Darwin, l. c. S. 2 ff.

obwohl hier zahlreiche regelmäfsige Küstenterrassen, sowie die an manchen Stellen nahezu 300 Meter über dem Meeresniveau sich ausbreitenden Muschellager eine bis in die neuere Zeit hereinreichende Hebung bezeugen.

An der Westseite Central- und Nordamerikas sind bisher nur Hebungen beobachtet worden. K. v. Seebach erkannte am Ostufer des Golfs von Nicoya (Costa Rica) eine Strandlinie, die auf ein der jüngsten geologischen Epoche angehörendes Aufsteigen des Landes hinweist [1]). Ebenso entdeckte Oscar Löw, der Geolog der Wheeler-Expedition, Strandlinien bei San Juan Capistrano (südöstlich von Los Angeles in Californien). Aus Löws Mitteilungen, nach welchen sich die Küste bei diesem Orte im Jahrhundert um 1,8 Meter hebt, scheint hervorzugehen, dafs die dortige Aufrichtung auch jetzt noch fortdauert und den Küstenbewohnern längst schon bekannt ist. Erwähnenswert sind auch noch eigentümliche kesselartige Vertiefungen im dortigen Hügelland, deren Entstehung auf Wellenauswaschung zurückgeführt werden mufs [2]). Ferner ist vielleicht auch die Vancouver-Insel und die benachbarte Küste von British-Columbia im Aufsteigen begriffen; wenigstens deuten Ablagerungen recenter Muscheln bis zu einer Höhe von 15 Metern über dem Meeresniveau auf Vancouver und regelmäfsige Terrassen am Fraserflusse (in British-Columbia) darauf hin [3]). An dem Nordrande des Königin-Charlotte-Archipels ist, seitdem Menschen dort wohnen, der Boden etwa um 5 Meter emporgerückt, wie uns die Einschlüsse gewisser jetzt emporgehobener Meeresablagerungen belehren. Doch wird hier gegenwärtig an einzelnen Uferstrichen der Waldboden so rasch vom Meere hinweggespült, dafs vielleicht für die neueste Zeit eine leichte Senkung angenommen werden darf [4]). Endlich sind Hebungen an den Gestaden des Territoriums Alaska ziemlich gut beglaubigt. Whymper [5]) erzählt uns mit Berufung auf den russischen Reisenden Zagoskin, dafs die Stelle, wo jetzt das Fort St. Michael steht (am Norton-Sund), noch im Anfang dieses Jahrhunderts vom Meere überflutet war. Ferner wurde das Auftauchen der neuen Insel Bojoslov (nördlich von Unalaschka) im Jahre 1796 wirklich beobachtet; doch mufs es in diesem Falle dahin gestellt bleiben, ob nicht vulkanische Kräfte einen wesentlichen Anteil an der Bildung dieser Insel hatten.

Weit besser unterrichtet sind wir über die seculären Schwankungen

[1]) Petermanns Mitteilungen 1865, S. 242.
[2]) Petermanns Mitteilungen 1876, S. 332.
[3]) F. G. Hahn, l. c. S. 99 f.
[4]) George M. Dawson in Petermanns Mitteilungen 1881, S. 343.
[5]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1868, p. 222 sq.

der Ostküste von Central- und Nordamerika. Zunächst ist das Gebiet der Kleinen und Grofsen Antillen ein weites Hebungsfeld. Relativ gut bezeugt wird insbesondere das Aufsteigen Haïtis durch das Anwachsen der Halbinsel Samaná an den Hauptkörper der Insel, sowie durch die merkwürdigen Höhlen an der S.-Lorenzo-Bai, die offenbar vom Meere ausgewaschen sind, nichts desto weniger aber den Seespiegel bis 18 Meter überragen [1]. Die Inselflur der Bahama-Gruppe scheint, um einen Lieblingsausdruck älterer Geologen zu gebrauchen, eine Schwengelbewegung (mouvement de bascule) zu vollziehen, d. h. im Westen zu steigen und im Osten zu sinken, da die einzelnen Inseln nach Osten zu an Gröfse abnehmen und schliefslich nur durch zahlreiche Bänke vertreten werden [2]. An der Ostküste Centralamerikas und Mexicos sprechen die weiten Küstenebenen mit Strandlagunen und die zahlreichen aus dem Meere erhobenen Koralleninseln eher für eine Hebung als für eine Senkung. Im Mexicanischen Meerbusen wird ein Landgewinn bei Tamaulipas (Mexico) erwähnt, und in der Matagorda-Bai ist der Hafen von Indianola (Texas) so rasch versandet, dafs er um vier englische Meilen nach Powderhorn hat verlegt werden müssen. Nun münden zwar in die Matagorda-Bai viele Flüsse, unter anderen ein recht stattlicher Rio Colorado, dessen Alluvionsthätigkeiten vielleicht jene Erscheinung zugeschrieben werden könnte; da jedoch die Küste nach Douais Bericht [3] durchaus nicht völlig flach ist, sondern überall an den Baiufern aus 2 bis 3 Meter hohen Bänken besteht, welche sich vorwiegend aus Schaltierüberresten neueren Ursprungs zusammensetzen, so dürfen wir wohl kaum an einer wirklichen Hebung dieses Küstengebietes zweifeln. Das Mississippi-Delta hingegen weist unverkennbare Spuren einer jüngeren Senkung auf. So durchstiefs man in New-Orleans bei der Anlegung einer 6 Meter tiefen Grube eine Thonschicht, welche unzählige Baumstümpfe und zwar in aufrechter Stellung mit daran sitzenden Wurzeln enthielt. Jene Bäume sind also auf dem dortigen Grunde gewachsen, und da die Grube samt ihren merkwürdigen Baumresten bis 3 Meter unter den Seespiegel hinabreicht, so ist es wohl erlaubt, eine Senkung für das Mündungsland des Mississippi anzunehmen [4]. Auch vermifst man an denjenigen Armen, durch die der Mississippi gegenwärtig keine Schwemmstoffe mehr in

[1] Robert Schomburgk in dem Journal of the R. Geogr. Society of London 1853, p. 264 sq.

[2] Charles Darwin, The Structure and Distribution of Coral Reefs. 2nd ed. London 1874. p. 260.

[3] Petermanns Mitteilungen 1864, S. 121.

[4] Nach Sir Charles Lyell in Poggendorffs Annalen. Ergänzungsband II (1848), S. 627.

die See hinausträgt, nicht blofs alle neueren Alluvionen, sondern man beobachtet sogar einen raschen Untergang der alten Uferleisten. So lehrt uns ein Vergleich der zwischen 1764 und 1771 von Gould entworfenen Karten mit den neueren Aufnahmen Talcotts (1838) und Humphreys' und Abbots (1860), dafs der Südpafs innerhalb des letzten Jahrhunderts 4 englische Meilen zurückgewichen ist, weil er nicht mehr als Hauptabflufskanal dient [1]). Von der Mississippi-Mündung ostwärts trifft man bei Mobile auf Bänke von Gnathodon-Schalen, welche, da sie sich weit landeinwärts erstrecken, unbedingt eine leichte Hebung des Landes voraussetzen. Auch Florida dürfte diesem Hebungsgebiete angehören, da es, wie Agassiz gezeigt hat, fast ganz eine jüngere Korallenbildung ist. Für die Fortdauer der Hebung in der Gegenwart läfst sich freilich kein Argument beibringen.

Indem wir uns weiter nach Norden wenden, betreten wir ein ausgedehntes Senkungsgebiet. Sir Charles Lyell argwöhnt ein Sinken der Küsten von Georgien und Süd-Carolina, da hier Cypressen und Cedern bis $4\frac{1}{2}$ Meter tief unter der Flutmarke vergraben sind. Diese Bewegung erstreckt sich noch weiter über Kap Hatteras (Nord-Carolina), ja über die Nordgrenze der Vereinigten Staaten hinaus bis nach Nova Scotia; am stärksten aber äufsert sie sich bei New-Jersey, wo eine Insel, Egg Island, die nach Karten vom Jahre 1694 [2]) 300 Acres Flächeninhalt besessen haben soll, zur Flutzeit jetzt gänzlich verschwindet, zur Ebbezeit nur noch 50 Acres besitzt. Nach dem Ausspruch der Küstenvermesser verliert die Delaware-Bai jährlich $2\frac{1}{2}$ Meter Uferrand, und das langsame Versinken jener Küstenstrecke wird in senkrechter Richtung auf $\frac{2}{3}$ Meter in unserem Jahrhundert geschätzt. An zahlreichen Küstenpunkten von Ost-Virginien, Delaware, New-Jersey, New-York und den nördlichen Staaten, sowie von Nova Scotia beweisen auch ertrunkene Torfmoore und Wälder von Ahorn, Eiche, Buche, Cypresse das Hinabtauchen der oceanischen Ufer. Ferner darf die Gruppe der Bermudas zu den sinkenden Räumen gezählt werden, seitdem bei der Anlage eines neuen Docks 14 Meter unter dem niedrigsten Wasserstande in einer 0,6 Meter mächtigen Schicht roter Erde Überreste von Cedern entdeckt wurden [3]). Aber schon bei Neufundland beginnt eine Gegenbewegung, nämlich ein langsames Auf-

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 458.

[2]) Nicht 1619, auch nicht 1649, wie Reclus angiebt, sondern 1694 nach Cook, dem wir die gründlichsten Untersuchungen über die Küsten von New-Jersey und New-York verdanken. American Journal of science and arts. Ser. II, Vol. XXIV, p. 341—355.

[3]) Matthew Jones in dem American Journal of science and arts. Ser. III, Vol. IV, p. 414 sq.

steigen, welches sich auch über Labrador erstreckt. Beides ist in neuerer Zeit von dem Commander W. Chimmo bestätigt worden[1]. Die arktische Küste Nordamerikas und den Parry-Archipel rechnet man vielfach zu den aufsteigenden Räumen; doch fehlt es gänzlich an sicheren Zeugnissen hierfür.

Das kleine grönländische Festland, von dem wir jedoch bisher nur den westlichen Küstensaum besser kennen, erfreut sich auch keiner völligen Ruhe. Wie schon erwähnt, gelang es dort zuerst Arctander und später dem Dänen Pingel, aus unzweideutigen Thatsachen zu erkennen, dafs seit etwa 400 Jahren die Uferstrecken zwischen dem Igalliko-Fjord (60° 43′ n. Br.) und der Disco-Bai (69° n. Br.) langsam abwärts schweben[2]. Späterhin hat man Spuren von Senkungen bis zum 73. Grad n. Br. verfolgt. Auch vollziehen sich diese Bewegungen jetzt noch, weshalb die Bewohner vielfach genötigt sind, ihre Wohnungen zu verlassen und sie weiter landeinwärts wieder aufzurichten oder die vom Meere überfluteten Pfähle, welche zur Bootbefestigung dienen, näher am Ufer durch neue zu ersetzen. Bei der Brüdermissionsstation Lichtenfels (unter dem 63. Grad n. Br.) finden sich am Strande drei Holzböcke, auf welche das Weiberboot gestellt wird, wenn es nicht gebraucht wird. Über dem Bock, welcher am weitesten nach der See hin stand, schlug das Wasser zuletzt bei jeder Flut zusammen, und er wurde daher so versetzt, dafs er am meisten landeinwärts zu stehen kam. Diese Veränderung mufste seit 1789 dreimal vorgenommen werden. Hieraus geht hervor, dafs sich das dortige Gestade seit jener Zeit um 1,9 bis 2,5 Meter gesenkt hat[3]. Weiter im Norden traf der Entdecker Kane von 76° n. Br. bis zum Humboldt-Gletscher (80° n. Br.) in den Buchten Strandstufen, deren er 41 in senkrechter Folge über einander zählte. Sie sind ganz untrügliche Zeichen, dafs das Land dort mit 41 Zwischenpausen von der untersten bis zur höchsten Terrasse gehoben worden ist. Kanes Nachfolger, der Polarreisende Hayes, hat diese Wahrnehmung für andere Küstenpunkte bestätigt. In Port Foulke, seinem Winterhafen (78° 17′ n. Br.), erhoben sich 23 alte Uferleisten stufenförmig bis 110 engl. Fufs (33,5 Meter) über den mittleren Seespiegel. Den nämlichen Wahrzeichen begegnete er weiter gegen Norden an der Südostküste von Grinnell-Land. Auch hier stieg der Boden in stufenförmigen Absätzen an, deren höchster 120 bis 150 engl. Fufs (37 bis 46 Meter) über dem Meeresspiegel lag[4]. Sie werden von ihm als ein Beweis

[1]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1868, p. 271.
[2]) Poggendorffs Annalen. Bd. XXXVII (1836), S. 446 f.
[3]) Petermanns Mitteilungen 1880, S. 98 f.
[4]) J. J. Hayes, The open Polar Sea. London 1867. p. 337. 402.

des Aufsteigens von Nord-Grönland und der gegenüber liegenden Küsten angerufen, wie auch schon Sir John Herschel in seiner physikalischen Erdkunde den älteren Angaben von Kane die gleiche Bedeutung beigemessen hat. Alle die genannten Merkzeichen sprechen freilich nur für eine ältere Hebung, zumal sie auch südwärts vom 73. Grade vorkommen, wo sich doch zweifellos das Land senkt. Immerhin sind die dortigen Hebungen, geologisch gesprochen, nicht durchweg als solche von hohem Alter zu betrachten; denn jene marinen Terrassen enthielten mehrfach die Schalen von Weichtieren, welche gegenwärtig noch an der dortigen Küste leben[1]). Auch scheinen mehrere Thatsachen auf ein neueres Emporsteigen der nördlichen Westküsten hinzuweisen. So entdeckten die Engländer der „Polaris"-Expedition (1872) an der Westküste Grönlands nördlich vom Humboldt-Gletscher (etwa unter 80° n. Br.) eine Meeresfauna in Süfswasserseen, welche mehr als 10 Meter über dem Meeresspiegel und weit ausserhalb des Bereichs der Springfluten lagen[2]). Ferner fand Nares auf der Westseite des Robeson-Kanals (82° n. Br.) Treibholz bis zu einer Höhe von 47 Metern über dem Niveau des Oceans, wohin es doch kaum durch hohen Seegang gespült worden sein konnte[3]). Ob die Ostküste Grönlands an dem Aufsteigen der Westseite teilnimmt, läfst sich nicht entscheiden; doch machen es die von Payer auf der Insel Shannon, im Süden der Sabine-Insel und auf der westöstlich streichenden Küstenlinie zwischen Kap Broer Ruys und der Mackenzie-Bucht wahrgenommenen Strandterrassen wahrscheinlich[4]).

In der Südsee tritt uns die Erscheinung eines Sinkens der Erdoberfläche am grofsartigsten entgegen, und dort bieten auch die Koralleninseln und Korallenriffe erwünschte Mefswerkzeuge zur Ermittelung des ehemaligen Wasserstandes. Zwar kann die Behauptung Darwins nicht mehr aufrecht erhalten werden, dafs alle Atolle oder echten Koralleninseln auf der Flur eines versunkenen Landes emporgewachsen seien (vgl. hierzu den Abschnitt über den Ursprung der Inseln); denn die Korallenbauten entsteigen sicherlich nicht den Tiefen des Oceans, sondern überziehen nur haubenähnlich dessen unterseeische Anschwellungen, welche teils aus älterem krystallinischen Gestein, teils aus vulkanischem Material bestehen mögen. Immerhin darf man das Gebiet, über welches sich jene Züge von Koralleninseln erstrecken, als ein grofses Senkungsfeld betrachten, dessen Längenachse nach Dana auf einer Karte in Mercators Projektion durch eine gerade Linie von der

[1]) Petermanns Mitteilungen 1880, S. 93.
[2]) Nature. Vol. IX, Nr. 230 (26. March 1874), p. 405.
[3]) Petermanns Mitteilungen 1876, S. 481 f.
[4]) Petermanns Mitteilungen 1871, S. 123.

Nordspitze des japanischen Nipon nach Kap Hoorn bezeichnet wird. Das Sinken dieser Inselwelt erklärt uns zugleich die rätselhafte Ausbreitung einer tropischen Menschenrasse. Wir finden bekanntlich die malayischen Polynesier, deren Ursitze wir auf dem asiatischen Festlande, und zwar auf der Halbinsel Malakka, zu suchen gezwungen sind, von Madagaskar verbreitet bis zur Osterinsel und von den nördlichen Sandwichinseln bis nach Neuseeland. Es war immer schwierig zu erklären, wie diese zwar schiffahrtskundigen, aber für gröfsere Fahrten ungenügend gerüsteten Stämme gegen die herrschenden Passatwinde so weit nach Osten vordringen konnten; aber bis in die Gegenwart dauern ihre Wanderungen noch fort. Die niedrigen Atolle, welche sie bewohnen, werden nämlich früher oder später ein Raub der Wellen, und beständig hören wir von Polynesiern, die sich wegen der Zerstörung ihrer Heimat nach einem anderen Asyl einschiffen mufsten. Wir gewahren also, dafs die fortdauernden Senkungen sie beständig wieder von ihren Rastplätzen aufscheuchen, dafs nicht Neugier oder Wanderlust, sondern die bitterste Not über die See sie versprengt hat. Wir dürfen aber auch ohne Willkür annehmen, dafs in früheren Jahrhunderten die Zahl der Inseln viel gröfser gewesen sei als gegenwärtig und dafs manche Insel, die ihnen als Rastplatz und Zwischenstation auf ihren Wanderzügen gedient haben mag, gegenwärtig unserem Auge entrückt worden sei. Seit Europäer jenen Ocean befahren, sind schon manche Inseln vermifst worden, andere, wie Whitsunday (Tuamotu-Archipel), haben an Umfang verloren [1]), und bei einem später zu nennenden Beispiele läfst sich das Versinken durch sinnliche Wahrnehmungen beweisen. Wenn übrigens Darwin gewöhnlich als derjenige Gelehrte genannt wird, welcher zuerst die Korallenbildungen als Mafsstab der Bodenschwankungen zu benützen gelehrt habe, so müssen wir erinnern, dafs schon Joh. Reinh. Forster sechzig Jahre früher bemerkt, er habe auf seiner Reise als Begleiter Kapitän Cooks nur bei einer einzigen Insel der Südsee Beweise gefunden, „dafs der Boden wirklich in Ansehung der Wasserfläche etwas gewonnen habe“ [2]). Am 3. Juli 1774 erreichten nämlich die Seefahrer Turtle-Island, das Cook in seinem Werke über die damaligen Entdeckungen nach 19° 48′ s. Br., 178.° 2′ w. L. v. Gr. verlegt, das also wahrscheinlich mit dem heutigen Vatoa der östlichen Fidschigruppe identisch ist. Auf dem Riff jener Insel bemerkte Forster etliche

[1]) Charles Darwin, The Structure and Distribution of Coral Reefs. 2nd ed. London 1874. p. 128.

[2]) J. R. Forster, Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt. Berlin 1783. S. 125.

Korallen, die den Seespiegel überragten, obgleich sie doch nur unter dem Wasser leben können. „Entweder“, fügt er hinzu, „müssen sie also aus dem Meere gehoben worden, oder das Meer selbst muſs zurückgetreten sein.“ Die wenigen Beispiele von gehobenen Koralleninseln, die wir später anführen werden, bestätigen nur die groſse Allgemeinheit der Regel für die Südsee, daſs alle Korallen-Inseln (Atolle) niedrig sind und auf gesunkener und sinkender Meeresflur ruhen, daſs alle hohen Inseln vulkanisch sind und daſs die wenigen über Wasser gehobenen Atolle sämtlich in der Nähe vulkanischer Bildungen liegen.

Zu den sinkenden Räumen gehört zunächst das Gebiet der Tuamotu-Gruppe, von welcher in historischen Zeiten bereits mehrere Inseln verschwunden sind. Die Gesellschafts-Inseln scheinen weit langsamer abwärts zu schweben. v. Hoff bemerkt zwar, daſs längs dem Fuſse von Felsen am Venus-Point Tahitis, die bei Wallis' Besuche 1767 ins Meer sanken, jetzt ein trockener Pfad hinführe, also eine Hebung stattgefunden haben müsse; doch haben die Nachforschungen Darwins bei den Eingeborenen ergeben, daſs jene Angabe auf einem Irrthum beruht [1]). Untertauchende Gruppen sind ferner, wenn wir von der Aufzählung der central-polynesischen Sporaden südlich von den Sandwichinseln absehen, die Union-, Phönix-, Ellice-, Gilbert- und Marshall-Inseln, sowie der ausgedehnte Archipel der Carolinen. Namentlich wird uns von dem letzteren wiederholt berichtet, daſs einzelne Inseln vom Ocean verschlungen worden seien. Auf der Insel Puynipet hat sich nach Karl v. Scherzers Bericht ein alter Baugrund mit Steinblöcken und Säulen unter das Wasser gesenkt.

Die Inseln mit erloschenen Vulkanen wie die Fidschi- und Marquesás-Inseln scheinen gegenwärtig zu ruhen; wenigstens fehlen zuverlässige Angaben über Erhebung wie Senkung. Dagegen steigen fast alle Inseln mit thätigen Vulkanen, und unter ihnen mit besonderer Energie die hochvulkanischen Sandwichinseln, aus dem Schoſse des Oceans empor. Vermochte doch Pierce auf Oahu bereits nach Ablauf von 16 Jahren das Vorrücken des Landes deutlich wahrzunehmen! Ferner hat man auf den mit thätigen Vulkanen ausgerüsteten Tonga- (Freundschafts-) Inseln 90 Meter hohe Strandlinien und zugleich Beweise für eine neuere Hebung der Inseln vorgefunden. Auch das Aufsteigen der zum Teil vulkanischen Samoa-Inseln kann wohl kaum bezweifelt werden. Insbesondere begegnen wir an dem Westrande der oceanischen Inselwelt einer Mehrzahl von aufstrebenden Inseln. Zunächst wissen wir von Neuseeland, wo die Terrassenbildungen der

[1]) Charles Darwin, l. c. Nota zu p. 182.

Südinsel ein Aufsteigen um 650 bis 1600 Meter in posttertiärer Zeit beglaubigen, dafs die Hebung an den Ostküsten noch fortdauert, wo erst in allerjüngster Zeit die mit mehrfachen Strandlinien versehene Bankshalbinsel fest geworden [1]) und bei Lyttelton ein „Wachsen des Sandes“ um 1 Meter in 10 Jahren wahrgenommen worden ist. Doch müssen wir hinzufügen, dafs der Hebung der Ostküsten ein Sinken der Westküsten entspricht, so dafs also Neuseeland wie ein Segelboot sich zur Seite neigt. Namentlich schwebt der nördlich von Auckland gelegene Teil unzweifelhaft abwärts. Nach F. v. Hochstetter ist die Drehungsachse von Neuseeland eine der Westküste parallel laufende Linie, welche im Norden im Tauranga-Hafen endet. Die Neuen Hebriden, die Salomonen, Neu-Irland, die West- und Nordküsten von Neuguinea und die Marianen (Ladronen) sind im Aufsteigen begriffen, wie ihre aufragenden Korallenriffe es bezeugen. Alle diese Inseln tragen thätige Vulkane, während das unvulkanische Neu-Caledonien südwärts von ihnen und die nahe liegende unvulkanische Louisiadenkette tiefer in die See hinabtauchen. In den Loyalitätsinseln tritt uns jedoch auch eine nichtvulkanische und trotzdem mit untrüglichen Zeichen einer neueren Hebung behaftete Inselgruppe entgegen [2]).

Für die Nord- und Westküste des australischen Kontinentes fehlen uns sichere Kennzeichen seculärer Schwankungen, obwohl gewisse Küstenbildungen auf eine jüngere Hebung hindeuten. Dagegen wird ein Aufsteigen Südaustraliens durch das Auftauchen von Riffen in der Encounter-Bai und durch die Bildung langer, schmaler Strandseen mit recenten Seemuscheln bezeugt. Ferner ist es Becker gelungen, im Gebiete der Hobson-Bai bei Melbourne (Victoria) ein Aufsteigen von $^1/_{10}$ Meter im Jahre zu beobachten [3]), an welcher Bewegung auch das gegenüber liegende Tasmanien Anteil zu nehmen scheint. Dagegen müssen wir den Ostrand Australiens, namentlich soweit er von dem grofsen Barrière-Riff begleitet ist, so lange den sinkenden Länderräumen beiordnen, als nicht zutreffendere Beweise wie die bisherigen uns von dem Gegenteil belehren [4]).

Wir verlassen hier die Neue Welt, um uns zu einem Rundgang um die ungeheure Ländermasse der Alten Welt anzuschicken. Lenken wir unsere Blicke zuerst auf die arktischen Gebiete, so begegnen wir mehreren Inseln, resp. Inselgruppen mit unverkennbaren Hebungs-

[1]) Ferd. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 40 f.

[2]) F. G. Hahn, l. c. S. 73.

[3]) Petermanns Mitteilungen 1858, S. 477.

[4]) Vgl. Sir Charles Lyell, l. c. Vol. II, Fig. 163 auf p. 603.

erscheinungen: nämlich Jan Mayen [1]), Spitzbergen und Nowaja Semlja. Auf Spitzbergen werden Reste von Muscheln und Walfischen auf Höhen von 50 Metern getroffen, und daſs diese Hebung noch bis in die neueste Zeit fortgedauert hat, konnten die Beobachter der schwedischen Expedition im Jahre 1864 bestätigen, welche an der Nordküste Treibholz hoch über dem Bereich der Springfluten angespült sahen. Die dortigen Strandgeschiebe verraten deutlich, daſs sie vor kurzem noch dem Meeresgrunde angehörten, und zahlreiche felsige Landzungen erscheinen auf älteren Karten noch als Inseln [2]). Bei Nowaja Semlja entdeckte Kapitän Mack im Jahre 1871 die niedrigen Golfstrom-Inseln an derselben Stelle, wo Barent am 27. Juli 1594 eine nicht einmal besonders seichte Sandbank mit 33,9 Meter Wassertiefe ermittelte [3]); auſserdem bezeugen Strandterrassen und hochgelegene Treibhölzer eine neuere Hebung. Recente Seemuscheln, welche sich in groſser Entfernung von der Küste in reicher Menge ausbreiten, beweisen ferner, daſs auch das europäische Festland zwischen der Dwina und dem Uralgebirge an dieser Erhebung teilnimmt.

Begeben wir uns jetzt nach dem asiatischen Norden, so bieten uns die sibirischen Eismeerküsten Beweise eines Aufsteigens in der jüngsten Vergangenheit. Schon Gerhard Friedrich Müller, einer der Gelehrten, der mit Gmelin zur sogenannten zweiten kamtschatkischen Expedition (1734 bis 1743) unter Vitus Bering gehörte, aber nur bis Jakutsk gelangte, brachte die Nachricht heim, daſs an den Eismeerküsten weit über den Hochwasserlinien Treibholz angehäuft gefunden werde [4]). Diese Thatsache bestätigte in unserem Jahrhundert der Polarwanderer Hedenström (1809 bis 1811), der an der Küste gegenüber den neusibirischen Inseln Treibholz etliche Werst vom jetzigen Ufer auf einer wallartigen Erhebung von mehreren Saschen Höhe angeschwemmt sah. Ein späterer Nachfolger Hedenströms, Ferdinand v. Wrangell, wiederholte nicht nur die nämliche Angabe [5]), sondern fügte noch hinzu, daſs er die kleine Insel Diomedes, östlich vom Swiätoi-Noss, welche Schalaurow 1761 bis 1762 besucht hatte, 60 Jahre später mit dem Festlande verwachsen

[1]) Vgl. H. Mohn in Petermanns Mitteilungen 1878, S. 228—235 und Tafel XIII.

[2]) F. G. Hahn, l. c. S. 125 ff.

[3]) Petermanns Mitteilungen 1872, S. 396.

[4]) G. F. Müller, Sammlung russischer Geschichte. St. Petersburg 1758. Bd. III, S. 160.

[5]) Ferd. v. Wrangell, Reise längs der Nordküste von Sibirien und auf dem Eismeere in den Jahren 1820 bis 1824. Berlin 1839. Bd. I, S. 114. Bd. II, S. 256 u. a.

getroffen habe. A. Th. v. Middendorff fand im Taimyrlande zahllose Muscheln, welche jetzt noch im Nördlichen Eismeere vorkommen, in einer Meereshöhe von 18 bis 62 Metern und bis nahezu 30 geogr. Meilen von der Küste entfernt. Überhaupt scheint, wie die Beschaffenheit des Bodens und die eingeschlossenen Conchylien bezeugen, der gröfste Teil der sibirischen Tundra erst in jüngster Zeit aus dem Meere emporgestiegen zu sein. Auch die nordöstlich von der Lenamündung gelegene Inselgruppe Neusibirien zählt zu den in Hebung begriffenen Gebieten.

An den Ufern des Stillen Oceans steigen Kamtschatka, sowie die vulkanischen Kurilen mehr und mehr aus dem Ocean empor. Auf Sachalin wurden von russischen Reisenden jüngere Muschelbänke aufgefunden, welche in ziemlicher Entfernung vom Ufer auf Schichten von Meeresthon liegen; ehemalige Buchten sind zu Seen oder brackischen Sümpfen geworden. Ebenso sind Hebungen für das Mündungsgebiet des Amur nachgewiesen. Das japanische Inselreich ist, wie aus zahlreichen Strandlinien geschlossen werden darf, fast durchweg ein Hebungsgebiet. Auch ist hier ein neueres Emporsteigen der Küste an mehreren Punkten gut beglaubigt. Die Eingänge der Kamamaë-Bucht (auf der Ostseite von Hondo unter 39° n. Br.) sind in jüngster Zeit sehr seicht geworden und zwar an einer Stelle, wo weder Flufs- noch Meeresanschwemmung an der Umgestaltung der Meerestiefen wesentlich beteiligt sein konnte. Gleichzeitig bezeugt eine benachbarte graue Kalksteinwand, in deren Löchern noch zahlreiche Schalen von Bohrmuscheln wohl erhalten sind, dafs sich dort die Küste neuerdings um 1,5 Meter gehoben hat [1]). Wie Karten aus der ersten Hälfte des 11. Jahrhunderts zeigen, reichte die Bai von Tokio ehemals viel weiter nach Norden und bedeckte unter anderem auch die Fläche der heutigen Unterstadt von Tokio. Das von 1455 bis 1457 am Meere erbaute Schlofs zu Tokio steht jetzt in beträchtlicher Enfernung von der Küste. Die letztere ist seit 9 Jahrhunderten um etwa $^3/_4$ geogr. Meile gegen die See hin vorgerückt. Teilweise ist dieser Zuwachs des Landes wohl der Thätigkeit der Flüsse zuzuschreiben; andrerseits wird hier jedoch auch eine seculäre Hebung mit Sicherheit erkannt an den über den Meeresspiegel empor gestiegenen Bänken recenter Muscheln, sowie an den 3 Meter hohen Bohrmuschellöchern am Bluff bei Yokohama [2]). Ferner bespülte das Meer nach alten Überlieferungen noch um 660 v. Chr. den Fufs der jetzigen Oberstadt von Osaka [3]). Ebenso deuten

[1]) J. J. Rein, Japan. Leipzig 1881. Bd. I, S. 64 f.

[2]) Edmund Naumann in Petermanns Mitteilungen 1879, S. 121 ff.

[3]) J. Summers: „Notes on Ozaka“ in den Transactions of the Asiat. Soc. of Japan. Vol. VII, Part 4.

auf Shikoku und Kiushiu mancherlei Erscheinungen auf eine neuere Hebung hin [1]).

Ferner nimmt Korea, sowie der nördliche Teil von China bis zur Mündung des Yang-tse-kiang an dieser Hebung teil. Niu-tschuan, einst eine Seestadt, liegt jetzt 7 geogr. Meilen weit binnenwärts, und in der Ebene von Peking trifft man auf Muschelbänke von recenten Arten. Südlich von der Mündung des Yang-tse-kiang geht die Hebung in eine Senkung über. F. v. Richthofen [2]) macht dies wahrscheinlich durch den Hinweis auf die Schlammbänke an der Mündung der südchinesischen Flüsse, welche stets im Niveau der Flut verharren, während sie doch bei völliger Ruhe oder gar im Falle einer Hebung der Küste aus dem Meeresspiegel emportauchen müfsten. Übrigens hat man auch positive Argumente für eine Senkung: ein Kanal bei Fu-tscheu, welcher nach chinesischen Aufzeichnungen vor 900 Jahren zu flach für Dschunken war, dient jetzt als Hauptfahrwasser für die gröfseren Schiffe; ferner fand man beim Graben eines Brunnens in $7\frac{1}{2}-9$ Meter Tiefe unter dem Boden Reste eines chinesischen Hauses mit Töpfergeschirr und halbzerstörtem Holz [3]). Die benachbarten Liu-Kiu-Inseln, sowie Formosa zeigen Spuren einer neueren Hebung. Die Küsten von Tong-king und Cochinchina scheinen abwärts zu schweben, während an der Mündung des Menam sicher eine langsame Hebung das rasche Wachstum seines Deltas begünstigt.

Im Indischen Archipel zeigen sich, dem vulkanischen Charakter desselben entsprechend, fast nur Küstenaufrichtungen. Auf den Philippinen [4]), den Molukken, — insbesondere auf Gilolo, wo das Wachstum des Landes bei den Eingeborenen längst schon allgemein bekannt ist [5]), — Timor, Sumbawa, Lombok, Bali, Java [6]), Sumatra und den südwestlich von Sumatra gelegenen Mantawi-Inseln begegnen wir überall unzweideutigen Merkmalen für eine neuere Erhebung. Auf Timor liegt die obere Grenze eines jungen Meereskalkes mit Korallen 480 Meter hoch, und das Atoll Dana südwestlich von Timor ragt 60 Meter hoch über das Meeresniveau empor. Eine Senkung erleiden wahrscheinlich die Aru-Inseln.

[1]) Edmund Naumann, l. c. S. 135.

[2]) In Neumayers Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen. Berlin 1875. S. 306.

[3]) Bickmore im American Journal of science and arts. Ser. II, Vol. XLV, p. 214.

[4]) Charles Darwin, The Structure and Distribution of Coral Reefs. 2nd ed. London 1874. p. 178.

[5]) Poggendorffs Annalen. Bd. II (1824), S. 444.

[6]) Franz Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart. Übersetzt von J. K. Hafskarl. Leipzig 1854. Bd. II, S. 953—961.

An der Südseite Asiens sind auf den vulkanischen Nikobaren und Andamanen Zeugnisse für eine neuere Hebung vorhanden; ja, diese Bewegung scheint sich noch fortzusetzen bis zur Küste von Pegu, wo nach Adolf Bastians Ermittelungen seit Menschengedenken die Küste rasch anwächst, so dafs zwischen dem Sittang- und Belingflufs eine ehemalige Insel Kado jetzt fest geworden ist und bereits ein Dorf Kokaduth trägt [1]). F. v. Richthofen fand an den Ufern des Golfes von Martaban ziemlich 5 Meter über der Ebene in einem Kalkriff eine Höhle, in deren Eingang Millionen einer Neritina-Art durch Tropfsteinmassen zu einem festen Gestein verbunden waren; die Farbe derselben war noch so frisch, dafs es schien, als ob die Tiere erst gestorben wären [2]). Ferner ist, wenn die durch Crawford im Jahre 1822 gemessenen Tiefen richtig sind, der Boden des Golfs von Martaban seit dieser Zeit im Mittel jährlich um 0,55 Meter gestiegen [3]); eine so bedeutende Tiefenabnahme aber läfst sich wohl kaum allein aus den Anschwemmungen des Irawadi und Saluën erklären. Auch im Irawadi-Thale selbst sind seit 1750 Hebungen verspürt worden, und diese Bewegung erstreckt sich bis an die Küste von Arakan, von der nur wenig entfernt die vulkanischen Inseln Tscheduba und Reguain (18° 40′ n. Br.) liegen, auf welcher letzteren drei Stufen des Aufrückens deutlich bemerkbar sind. Auf der anderen Seite des Bengalischen Golfes wird das Gangesdelta gewöhnlich zu den aufsteigenden Gebieten gezählt. Man hat nämlich bemerkt, dafs zwei linke Nebenflüsse des Ganges, die Mahanadi (nicht zu verwechseln mit dem selbständigen Strome Dekhans) und die Kosi, ihre Mündungen in den Ganges von Ost nach West, also nach einer höher gelegenen Stromstelle, zurückverlegen, und das Gleiche ist der Fall mit dem rechten Nebenflufs, der Sona, die in acht Jahren ihre Mündung stromaufwärts oder gegen West dem Zusammenflufs des Ganges mit der Gogra um 4 engl. Meilen genähert hat. Doch scheinen diese Veränderungen anderen Ursachen zugeschrieben werden zu müssen, zumal sonstige Argumente für eine Hebung fehlen, wohl aber sehr gewichtige Gründe für eine Senkung sprechen. Beim Bohren eines artesischen Brunnens in der Nähe von Fort William hat man nämlich bis zu mehr als 20 Meter Tiefe hinab noch eine Torfschicht gefunden und unmittelbar über und unter derselben Stämme und Zweige von rötlichem Holze, welche so

[1]) Petermanns Mitteilungen 1863, S. 268.

[2]) Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XIV (1862), S. 367.

[3]) P. Doyle in der Nature. Vol. XIX, Nr. 492 (3. April 1879), p. 506; vgl. hierzu Nature. Vol. XX, Nr. 514 (4. September 1879), p. 432.

gut erhalten waren, daſs Wallich in ihnen sofort die Reste eines jetzt noch im Gangesdelta auſserordentlich häufig vorkommenden Baumes, Heritiera litoralis, erkannte. Übrigens ist man in der Umgebung von Calcutta wiederholt in gröſserer Tiefe auf derartige Pflanzenanhäufungen gestoſsen [1]). In einem Falle führte eine Bohrung 140 Meter tief unter das Meeresniveau hinab und durchsetzte dabei Schichten, in denen nur Land- und Fluſsfossilien vorkamen; in 110 Meter Tiefe wurde auch ein Torflager angetroffen. Offenbar währte hier die Senkung, wie aus der Lage und Mächtigkeit der Fluſsniederschläge hervorgeht, auſserordentlich lange Zeiträume [2]). Weiter südlich an der Karomandalküste ist ein Aufsteigen des Landes bei Madras und im nördlichen Arcot beobachtet worden. Zwar liegt gerade dort an der Küste die Stadt Mahamailapur, gegenwärtig Mahabalipuram oder die sieben Pagoden, so geheiſsen, weil nämlich eine Pagode sichtbar im trockenen steht, sechs dagegen in das Meer versunken sein sollen; allein schon Karl Ritter hat Zeugnisse genug gesammelt, welche das Versinken der Tempel als ein frommes Märchen erscheinen lassen. Weit lebendiger sind die geologischen Zeugnisse für eine Hebung Ceylons, an dessen Küsten jetzt Korallenbildungen zu beträchtlicher Höhe aufgestiegen sind, so daſs, wenn jene Thätigkeit nicht ermüdet, die Insel bald durch die madreporische Adamsbrücke mit dem indischen Festlande verknüpft werden wird.

An der Westseite Indiens heben sich nach Buists langjährigen Beobachtungen die Gestade bei Goa, Bombay und Basain. Vor ihnen liegen die einsinkenden Atolle der Lakkadiven; sie verlängern sich südwärts nach den Malediven und den Chagosinseln, die mit ihnen ein gleiches Schicksal teilen. Ebenso müssen wir ein Hinabtauchen des Indusdeltas annehmen, um uns die Meeresbedeckung weiter Küstengebiete zur Zeit des Hochwassers und die häufigen Einbrüche des Oceans, die in der Bildung zahlreicher „inlets“ einen deutlichen Ausdruck erhalten, zu erklären. Sonst aber wird auſser dem jähen Versinken des Runn von Cutch an den indischen Küsten des Arabischen Meeres nichts weiter für unsere Zwecke erwähnt.

Die Küste von Mekran, an welcher Stiffe Bohrmuscheln über der Wasserlinie fand, ist jedenfalls in Hebung begriffen [3]). Beim weiteren Fortschreiten nach Westen treffen wir im Persischen Meerbusen die Insel Kerak (Charak), von der unser groſser Naturbeschreiber Carsten Niebuhr vor mehr als hundert Jahren schon bemerkte,

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 476.

[2]) Petermanns Mitteilungen 1879, S. 406 f.

[3]) Quarterly Journal of the Geol. Soc. 1874, p. 53.

sie müsse aus dem Schofse des Meeres gehoben worden sein, weil sie gröfstenteils „aus Korallensteinen und Muscheln bestehe“ [1]).

An der Südküste Arabiens entdeckte Carter bei den Ruinen von el Balâd (nahe bei dem Vorgebirge Ras Morbat unter 17° n. Br. und 54° 40′ ö. L. v. Gr.) merkwürdige, vom Meere ausgespülte Höhlen, deren eine mit dem Fufsboden kaum einen Meter, mit der Decke dagegen 9 Meter den Meeresspiegel überragte. Hier ist demnach eine Hebung konstatiert, zumal sich auch Bohrlöcher mit Lithodomus-Exemplaren in der oberen Wölbung der Höhle zeigten [2]).

Ehe wir durch das Rote und Mittelländische Meer unseren Weg nach dem Norden der Alten Welt weiter fortsetzen, schalten wir hier ein, dafs von der Westseite Afrikas gar kein und von der Südostseite nur sehr spärliches Material für den Nachweis seculärer Schwankungen vorliegt. Bei Port Elizabeth und Port Natal scheint sich eine Hebung zu vollziehen; ebenso bezeugen Korallenriffe ein Aufsteigen der Mozambiqueküste, und das Gleiche gilt von Madagaskar und den vulkanischen Maskarenen, also von Réunion, Mauritius und Rodriguez. Auf der letztgenannten Insel wurden auch Strandlinien bis zu 7 Meter Höhe beobachtet; dagegen deutet hier ein altes, jetzt tief ins Meer versunkenes Korallenriff darauf hin, dafs in früherer Zeit die Insel weit höher aufgerichtet war als gegenwärtig [3]). Die Seychellen und Comoren gehören, nach den vom Ufer jetzt weit ab liegenden Korallenriffen zu schliefsen, wahrscheinlich dem grofsen Senkungsgebiete an, welches sich von den Keeling-Inseln im Osten über den Chagos-Archipel bis hierher, demnach über den ganzen Indischen Ocean erstreckt. Vielleicht darf man zu dieser Senkungszone auch Sansibar rechnen, das zwar ehedem ein emporstrebendes Land war, wie die aufgefundenen Strandlinien beweisen, aber sich doch durch gewisse Erscheinungen auf den vorliegenden Inseln als ein jetzt abwärts schwebendes Gebiet verrät [4]).

Treten wir nun nach diesem Exkurs in das Rote Meer ein, so treffen wir zu beiden Seiten desselben aufsteigende Küsten. Wiederum war es Carsten Niebuhr [5]), der vor länger als einem Jahrhundert

[1]) Carsten Niebuhr, Reisebeschreibung nach Arabien. Kopenhagen 1778. Bd. II, S. 201.

[2]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1854, p. 234.

[3]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLXVIII (1879), p. 290. 291 (vgl. auch Petermanns Mitteilungen 1880, S. 287).

[4]) F. G. Hahn, l. c. S. 40 ff.

[5]) C. Niebuhr, Reisebeschreibung nach Arabien. Kopenhagen 1774. Bd. I, S. 277. Beschreibung von Arabien. Kopenhagen 1772. S. 403 f.

an dem Auftauchen von Korallenfelsen eine Veränderung des Seespiegels erkannte. Seitdem hat das Aufsteigen der Küsten fortgedauert; denn der alte Hafen von Dschidda, das Emporium für Mekka, der zu Niebuhrs Zeiten noch Schiffen von geringem Tiefgang zugänglich war, ist jetzt gänzlich von der See abgesperrt worden. Rüppell fand auf seiner abessinischen Reise, daſs die Hebung an der arabischen Küste zwischen Dschidda und Janbo und auf der afrikanischen Seite des Roten Meeres bei Massua 4 bis 5 Meter, bei Ras Muhammed oder an der Südspitze der Sinai-Halbinsel 10 bis 13 Meter betrage[1]); doch hat Ehrenberg bestritten, daſs seit Don Juan de Castros Fahrt im Jahre 1541 bei Massua wie bei Tôr die Küste merklich sich verändert habe. Bei Sues ist dafür nach Alfred v. Kremer[2]) die Erhebung der Küste ganz unzweifelhaft. Dort aber endigt jedenfalls das Streben nach aufwärts; denn ein Sinken der Erdoberfläche wird im Delta des Nils deutlich sichtbar. Wir können uns nicht versagen, dem Leser den Anblick dieser merkwürdigen Erdenstelle vorzuführen (s. Fig. 49); denn wir belauschen dort das Ringen zweier ebenbürtiger Naturkräfte, einer schöpferischen und einer zerstörenden. Der Nil rückt beständig seine Uferleisten in das Meer hinaus; denn Damiette, welches 1243 noch ein Mittelmeerhafen war, ist jetzt eine Nilstadt geworden; gleichzeitig aber senkt sich die Flur des frisch angeschwemmten Landes. So sind die sogenannten Kleopatrabäder bei Alexandria bereits wieder unter Wasser gesetzt[3]); so entstand zwischen dem Mariut- und Edku-See die Lagune bei Abukir 1784 durch einen Einbruch des Meeres; so ist endlich der ehemals dicht bewohnte Boden des Mensaleh-Sees überschwemmt worden, und noch jetzt sieht man dort nach Versicherung Sir Gardner Wilkinsons unter dem Wasser nicht nur die versunkenen Ortschaften, sondern auch noch die hohen Uferleisten der ehemaligen Nilarme[4]).

Auch weiter westwärts sind überall Senkungen zu beobachten. Die am Meere gelegenen Ruinen der Cyrenaica rücken immer mehr in dasselbe hinein. Ein See bei Bengasi, welchen Barth auf seiner ersten Reise durch die Mittelmeerländer als Süſswassersee erkannt hatte, war später mit Salzwasser erfüllt. Leptis Magna (Lebida, östlich von Tripoli) ist bereits zum Teil unter Wasser gesetzt, zum Teil von

[1]) Eduard Rüppell, Reise in Abyssinien. Frankfurt a. M. 1838. Bd. I, S. 140 ff. Vgl. hierzu auch Gerhard Rohlfs, Quer durch Afrika. Leipzig 1874. Bd. I, S. 207.

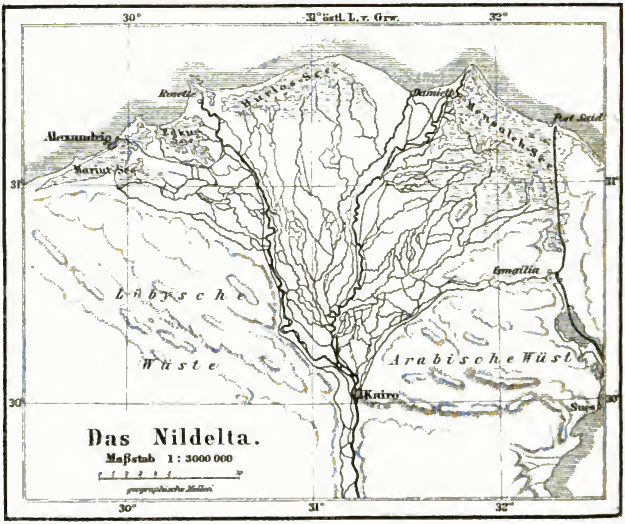
[2]) Ägypten. Leipzig 1863. Bd. I, S. 35.

[3]) Der dortige Vorgang ist sehr glücklich beschrieben worden von O. Fraas, Aus dem Orient. Stuttgart 1867. S. 178.

[4]) Sir Charles Lyell, Antiquity of Man. 2nd ed. London 1863. p. 35.

den Dünen verschlungen, welche das Meer ausgeworfen hat. Die Stadt Tripoli, welche früher längs des Meeres noch einen breiten und gehbaren Strand hatte, wird jetzt unmittelbar von den Wogen bespült; seit 30 Jahren hat sich der Boden dort sicher um $^1/_3$ Meter gesenkt. Ferner liegt ein Teil der Ruinen von Sabratha im Wasser[1]). Doch scheint sich das Senkungsgebiet nur bis zum Golf von Gabes zu er-

Fig. 49.



strecken, da an der tunesischen Küste bereits wieder Hebungen stattfinden mögen, die freilich für die historische Zeit noch nicht mit voller Sicherheit erwiesen sind[2]).

An der syrischen Küste dringt nur bei Beirut die See siegreich ein; dafür ist bei Jafa ein Aufsteigen von Oskar Fraas erkannt worden[3]), und Tyrus (Sur), zu Skylax' Zeiten noch eine Insel drei

[1]) Gerhard Rohlfs, Quer durch Afrika. Bd. I, S. 207.
[2]) Vgl. hierzu J. Partsch in Petermanns Mitteilungen 1883, S. 201–211.
[3]) O. Fraas, l. c. S. 45.

Stadien von der Küste entfernt, ist, seit Alexander der Grofse bei seiner Belagerung einen Damm errichtete, mit dem Festlande durch eine Landzunge verbunden geblieben. Endlich droht dem Issischen Meerbusen, den wir jetzt den Golf von Iskanderun (Alexandrette) nennen, eine rasche Ausfüllung. Auch das Ägäische Meer scheint von der kleinasiatischen Seite aus eingeengt zu werden; wenigstens wird behauptet, dafs die Städte Ephesus, Smyrna und Troja oder das, was man für ihre Trümmer ansieht, landeinwärts gerückt worden seien. Mitten in diesen aufsteigenden Gebieten treffen wir nur auf ein einziges kleines Senkungsfeld an der Küste des alten Lycien, wo antike Bauten bei Telmissos sowie am Chelidonischen Vorgebirge jetzt unter Wasser stehen [1]).

Das Schwarze Meer wird wahrscheinlich nur von aufsteigenden Küsten umsäumt. P. v. Tchihatcheff entdeckte im Jahre 1854 an den Höhen, von denen die Stadt Samsun (Kleinasien, südöstlich von Sinob) überragt wird, Bänke von recenten, noch jetzt im Pontus vorkommenden Muscheln (Tellina, Pecten, Venus, Rotella, Ostrea edulis var.). Die Stadt Batum weicht mehr und mehr von der Küste zurück, obwohl kein Flufs in die dortige Meeresbucht mündet. Eine neuere Hebung der Krim wird dadurch bewiesen, dafs bei Sudak Meeresklippen aus Gestein bestehen, welches recente Muscheln (Cardium edule und Mytilus edulis) enthält. Endlich wurden solche von P. v. Tchihatcheff auch an den Ostküsten Thraciens in bedeutender Höhe über dem Meeresspiegel gefunden [2]).

Kehren wir wieder nach dem Ägäischen Meere zurück, so stofsen wir an seinen westlichen Ufern auf Morea, welches Sir John Herschel [3]) zu den aufsteigenden Gebieten zählt, und auf Kreta (Candia), welches nach Kapitän Spratts Untersuchung [4]) an der steil abstürzenden Westküste in der historischen Zeit, wie sich aus dem Versanden und Austrocknen ehemaliger Häfen ergiebt, um etwa 8 Meter gestiegen ist. Dieses Aufsteigen der Insel gleicht einer Schwengelbewegung; denn am anderen östlichen Ende taucht sie in die See, wie die Ruinen älterer Städte es bezeugen, die jetzt unter Wasser liegen. Malta besitzt zwar die eigentümlichen Stufenabsätze, welche als Wahrzeichen von Hebungen gelten; allein alte, den Phöniciern zugeschriebene und in die Felsen gehauene Kunststrafsen sieht man jetzt in das Meer

[1]) Theobald Fischer in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. XIII (1878), S. 159.

[2]) Rudolf Credner, Die Deltas (Ergänzungsheft Nr. 56 zu Petermanns Mitteilungen 1878). S. 69 f.

[3]) Physical Geography of the Globe. 5th ed. Edinburgh 1875. p. 90.

[4]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1854, p. 238 sq.

hinabtauchen [1]). An der Südküste Siciliens wurden Spuren eines Aufstrebens, namentlich im Val di Noto, von Sir Charles Lyell aufgefunden, und an der Nordküste (bei Palermo) hat Fr. Hoffmann bis zu 55 Meter Höhe eine Ablagerung von Meeressand und Geröllen gefunden, in denen zahlreiche Gehäuse von recenten Muscheln eingeschlossen waren [2]). Die fortschreitende Versandung der Häfen von Palermo, Syrakus und Girgenti ist ohne Zweifel auf das Aufsteigen der Insel zurückzuführen. An der dortigen Hebung nehmen vielleicht auch die benachbarten Küsten von Nordafrika mit Anteil, wie die Versandung der Häfen an der tunesischen Küste beweist. Dagegen kann wohl kaum ernstlich behauptet werden, daſs groſse Räume der nördlichen Sahara noch in der jüngsten geologischen Vergangenheit vom Meere bedeckt gewesen sind. Vielmehr war von der heutigen Sahara auſser einer schmalen Zone im Norden der Libyschen Wüste im günstigsten Falle nur noch der Südrand von Tunis vom Meere überflutet [3]). Der dortige Hebungsraum umfaſst im Norden die Inseln Sardinien und Corsica und berührt selbst noch die Gestade des Golfs du Lion und des Ligurischen Busens. An der Südküste von Sardinien, bei Cagliari, hat Graf Albert de la Marmora Schichten entdeckt, die sich im Meere abgesetzt und dann bis zu einer Höhe von 38 Metern erhoben hatten; dort, unter Muscheln von postpliocänem Alter, stieſs er auf Töpferscherben, so daſs also die Hebung in der historischen Zeit sich vollzogen haben muſs. Endlich sind auch die Balearen einer neueren Hebung verdächtig, da sich Höhlen, wie sie die See durch Wogenschlag auszuspülen pflegt, jetzt über dem Meeresspiegel befinden.

An der nördlichen Begrenzung des Mittelmeeres stoſsen wir auf einen Senkungsraum in der Vertiefung des Adriatischen Golfes. An den östlichen Ufern desselben begegnen wir den ersten sicheren Spuren an der Nordseite des Busens von Arta, wo eine römische Straſse jetzt 1,2 Meter tief im Wasser steht [4]). Die Küsten Dalmatiens und Istriens sind im Sinken begriffen, wie G. A. v. Klöden es nachgewiesen hat [5]) und wie schon ein Blick auf die eigentümlichen gebirgigen Küsteninseln es erraten läſst, die fast nicht anders als durch Überschwemmung ehemaliger Längen- und Querthäler entstanden sein können. Bei Triest, bei Pola, bei Zara und an anderen Stellen erblickt

[1]) C. F. Wiborg, Einfluſs der klassischen Völker auf den Norden. Hamburg 1867. S. 4.

[2]) Fr. Hoffmann, Hinterlassene Werke. Bd. II, S. 425.

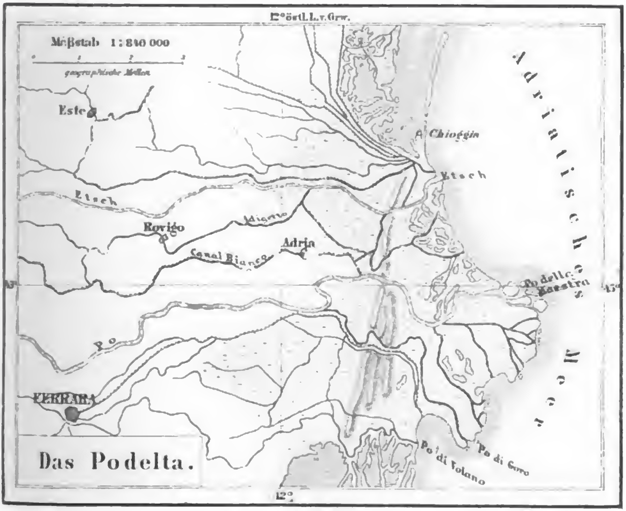
[3]) Vgl. hierzu E. Desor, Aus Sahara und Atlas. Wiesbaden 1865. S. 46 ff. und K. A. Zittel im Ausland 1883, S. 524—529.

[4]) Petermanns Mitteilungen 1871, S. 174.

[5]) Poggendorffs Annalen. Bd. XLIII (1838), S. 361—382.

man unter dem Meeresspiegel verschiedene Menschenwerke, wie Strafsenpflaster, Mosaike, Sarkophage. Auf der anderen Seite des Adriatischen Meeres ist die Senkung deutlich wahrnehmbar im Lagunengebiet. Das beifolgende Kärtchen (Fig. 50) läfst uns sofort erkennen, dafs der Lido vor Venedig nur eine alte Dünenkette ist, die sich in das gemeinsame Delta des Po und der Etsch noch fortsetzt und durch welche das Meer eingebrochen ist. Beim Bohren eines artesischen

Fig. 50.



Brunnens in Venedig wurde 1847 erst in 122 Meter Tiefe die Anschwemmungsschicht völlig durchsunken. Ganz unten stiefs der Bohrer auf ein Torflager und Pflanzenreste, wie sie sich noch jetzt oberflächlich an den adriatischen Gestaden anhäufen; folglich hat dort eine Senkung von 122 Metern stattgefunden [1]. Die Inseln, auf denen Venedig erbaut wurde, sind seit dem 16. Jahrhundert um etwa einen

[1] Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 422.

Meter gesunken, wie dies aus der Lage der aufgedeckten alten Straßenpflaster geschlossen werden darf. Auf der Insel San Giorgio hat man unter dem Spiegel des Lagunenwassers römische Baureste gefunden, und an der Stelle, wo im Mittelalter die Stadt La Concha stand (unweit Rimini), erblickt man bei ruhiger See die Überreste von zweien ihrer Türme in den Fluten. An der venetianischen Küste wiederholt sich übrigens das nämliche Schauspiel wie im Nildelta; denn unbekümmert, ob die Küste sinkt, dauern die Anschwemmungen von Seiten der Etsch und des Po fort, so daſs, während der Boden unter Venedig weicht, Ravenna, ein Hafenplatz zur Gotenzeit, gegenwärtig eine Binnenstadt geworden ist [1]).

Schlieſslich sei noch ein letztes Hebungs- und Senkungsgebiet an den Ufern des Mittelmeeres erwähnt: das von Algier. Hier finden sich an dem kleinen Meerbusen von Sidi Daoua (östlich von Mostaganem) die Überreste einer römischen Stadt auf einer unbequemen, wasserlosen und unsicheren Terrasse in einiger Entfernung vom Meere, wohin jene Stadt von den Römern sicher niemals gebaut worden ist [2]). Verständlich wird uns diese Anlegung nur, wenn wir für den Zeitraum von ihrer Gründung an bis jetzt eine Hebung der dortigen Küste von 6 bis 7 Metern annehmen. Weiter ostwärts (etwa von Algier ab) scheint ein kleines Senkungsfeld zu liegen, das sich jedoch keinesfalls bis an die Grenzen von Tunis erstreckt.

Verlassen wir das Mittelländische Meer, um die atlantischen Küsten unseres Erdteiles aufzusuchen, so treffen wir an den Ufern der Iberischen Halbinsel keinerlei gut beglaubigte Hebungen und Senkungen; nur an der spanischen Nordküste scheinen versunkene Wälder für eine neuere Senkung zu sprechen. Die West- und Nordwestküste Frankreichs weist fast nur Senkungsgebiete auf. Bei Biarrits begegnen wir nochmals versunkenen Wäldern; das Fort Cartin bei Arcachon ist seit 1790 nach und nach vom Meere weggespült worden. Die Felseninsel, auf welcher sich der Leuchtturm von Cordouan erhebt (Gironde-Mündung), hat seit zwei Jahrhunderten an Umfang beträchtlich verloren; ja, die Senkung ist bereits so weit vorgeschritten, daſs die Grundmauern des Leuchtturmes von der Flut benetzt werden. Der Landzuwachs an den Küsten des Aunis und der Vendée darf wohl kaum einer Hebung des Landes zugeschrieben werden, da man an der Mündung der Charente Bauwerke unter dem Wasser-

[1]) Vgl. hierzu E. Reyer: „Änderungen der venezianischen und toscanischen Alluvialgebiete in historischer Zeit“ in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. XVII (1882), S. 115 ff.

[2]) Bull. de la Soc. de Géogr. Sér. VI. Tome I, p. 34—57.

spiegel gefunden hat. Ähnliche Erscheinungen bezeugen das Hinabtauchen der Ufer an der Bucht von Morbihan und dem Golf von Douarnenez.

Auf der französischen Seite des Kanals hat die Insel Jersey, namentlich das Kirchspiel St. Ouen, starke Verluste erlitten, und die See zehrt auch an der normännischen Küste vor Coutances, dessen Flüfschen ehemals nach älteren Urkunden bei Roqui (oder Ranqué, Ranquet) mündete, wie jetzt eine Klippe heifst, welche eine halbe deutsche Meile in der See liegt. Landverluste sind ferner bei St. Malo etwas Häufiges, und zwar kennt man dort eine ganze Reihe gröfserer Einbrüche der See von 709 bis 1827, die Peacock im Jahre 1866 ausführlich vor der Londoner geographischen Gesellschaft geschildert hat. Mag hier auch der Anprall der Flutwellen nicht wenig zur Zerstörung des Landes beitragen, so wird doch durch unterseeische Wälder bei Morlaix, St. Malo und anderwärts, durch unterseeische Torfmoore und Bauwerke an zahlreichen Stellen der Normandie eine thatsächliche Senkung bewiesen. Zwischen Boulogne und Dunkerque trifft man auf alte Strandlinien; doch rühren diese jedenfalls aus vorhistorischer Zeit her. Im Gegenteil hat Sir Charles Lyell in „Antiquity of Man“ aus geologischen Gründen eine Bodensenkung an der Mündung der Somme annehmen zu müssen geglaubt.

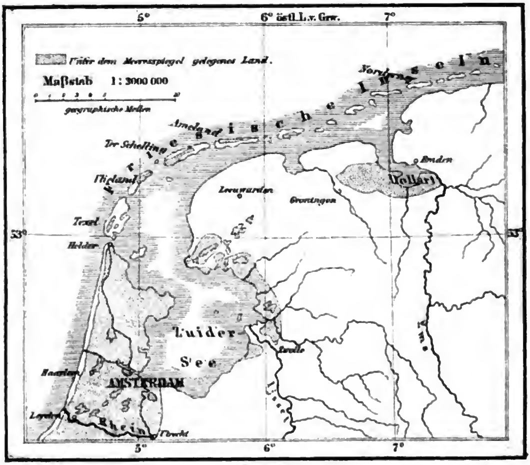
Die Südküste Englands erleidet (wenigstens zum Teil infolge secularer Senkung) im allgemeinen eine Zerstörung mit Ausnahme einer Strecke an der Westspitze, wo bei Plymouth durch ehemalige Strandstufen und bei New-Quay in der Nähe von Falmouth Symptome einer (jedenfalls älteren) Erhebung sichtbar sind. Auch Irland scheint dem besprochenen Senkungsgebiete anzugehören. Von den Uferbewohnern der Grafschaft Donegal erfuhr W. Harte, dafs Küstenteile, über welche deren Grofsväter noch trockenen Fufses hinwegschreiten konnten, jetzt von 6 Meter tiefem Wasser überflutet seien; Wälder und Gebäude fand er unter der Hochwassermarke [1].

Treten wir zum Kanal hinaus, so treffen wir auf die heftigsten Verwüstungen, welche gegenwärtig die Geschichte unseres Planeten kennt, nämlich auf das Eindringen der Nordsee gegen ihre Südufer. Die Niederlande lägen wohl längst schon im Meere begraben ohne die bewunderungswürdigen Küstenbefestigungen der Holländer, hinter denen sie im trockenen sitzen, wenn auch bei anhaltenden Nordwestwinden die Flutwellen im Lek bei Vianen $5\frac{1}{2}$ Meter höher steigen mögen als das Strafsenpflaster Amsterdams. Dennoch sind sie nicht vor allen Bedrohungen sicher; denn erst im Jahre 1825 ergofs sich ein Wogen-

[1] Nature. Vol. X, Nr. 240 (4. June 1874), p. 94.

schwall über Nordbrabant, Gelderland, Overijssel und Friesland. Unbestritten bleibt es, daſs die Senkung des niederländischen Gebietes bis in die historischen Zeiten fortgedauert hat; wir erinnern nur an die Bildung der Zuider-See, welche durch die Sturmflut von 1170 vorbereitet, im 13. Jahrhundert (1237, 1250, 1287) durch groſse Erweiterung des nördlichen Beckens und des im Süden gelegenen Flevo-Sees eingeleitet und 1395 durch den Untergang des Isthmus zwischen Stavoren und Medemblik (ö. und w. der schmalsten Stelle) vollendet wurde[1]). Ebenso fand an der Küste zwischen Holland und der Elbe der Ein-

Fig. 51.



Die holländischen und friesischen Nordseeküsten.

bruch des Dollart am 12. Januar 1277 statt. Die älteste bekannte Flut im Jeverlande (westlich vom Jadebusen) ist die von 1066; sie führte die busenartige Erweiterung der Jade herbei und zerstörte das von einem Nachkommen Wittekinds erbaute Schloſs Mellum, dessen Namen noch heute eine Sandbank an der Einfahrt des Meerbusens führt. Überhaupt berichten uns die Urkunden aus dem 12. und 13. Jahrhundert über eine lange Reihe vernichtender Fluten, welche über

[1]) J. Kuyper in Petermanns Mitteilungen 1876, S. 286.

die Nordwestecke Deutschlands hereinbrachen [1]). Guthe berechnet in seiner lehrreichen Beschreibung der Welfenlande den Verlust an Marschland von Flandern bis Jütland seit dem Mittelalter auf 91,8 deutsche Quadratmeilen, von denen man künstlich nur 47 Quadratmeilen zurückerobert hat [2]). Die Küsteninseln zwischen Texel und der Elbmündung, deren Plinius 32 zählte, haben sich um den dritten Teil vermindert und bezeichnen uns den alten Küstenrand Deutschlands gegen Norden (s Fig. 51). Dafs die übrig gebliebenen Inseln ehemals viel gröfser waren, beweist unter anderem für Borkum der Fund von Brunnen und Urnen auf einer Aufsensandbank, sowie das unaufhaltsam fortschreitende Abzehren von Helgoland, das im Jahre 800 noch eine Gröfse von $1^1/_2$ Quadratmeile gehabt haben soll, während es jetzt nur noch ein Areal von 0,23 Quadratmeile einnimmt. Dafs sich Deutschland bis zur Helgoland-Insel einst erstreckt haben möge, dafür läfst sich als Beweis anführen, dafs auf den oftfriesischen Inseln Bernstein vom Meere angespült wird; denn wo dies geschieht, mufs notwendiger Weise ein ehemals trockenes Land, welches die Bernsteinhölzer trug, in das Meer hinabgetaucht sein. Auch durch andere Pflanzenbildungen wird die Senkung bestätigt. „Auf dem Grunde des Meeres“, sagt H. B. Geinitz in dem grofsen Werke über die Steinkohlen Deutschlands, „können sich keine Torflager erzeugen. Befinden sich hie und da, wie z. B. an den Küsten der Nordsee, Torflager unter dem Meeresspiegel, so sind dieselben durch Senkung der anliegenden Strandgelände in diese Lage geraten“ [3]). Solche unterseeische Torfmoore, die übrigens aus denselben Pflanzen bestehen, welche noch gegenwärtig die Torfmoore bilden, trifft man beispielsweise am Nissumfjord, an der Westküste von Sylt, in der Nähe von Husum und bei Friedrichstadt (hier 11 Meter unter dem gewöhnlichen Wasserstand), sowie an den Küsten der Provinz Hannover und Hollands. Auch verraten gewisse Mooreinschlüsse, dafs der Mensch bereits jene Gegenden bewohnte, als die Moore unter das Meeresniveau hinabtauchten. Ferner begegnet man an denselben Küsten vielfach Baumstümpfen auf dem Meeresgrunde, deren Wurzeln noch jetzt derart in dem festen älteren Sandboden verzweigt sind, dafs man unbedingt genötigt ist, diesen auch als den ursprünglichen Standort der Bäume

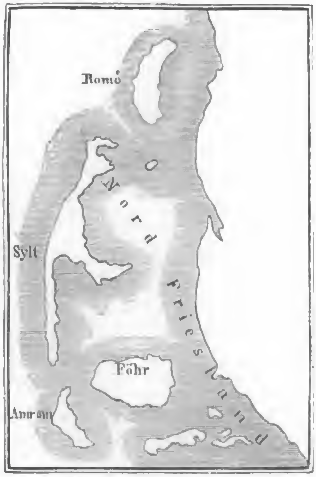
[1]) Bader in Jever, Aus der Nordwestecke Deutschlands in: Aus allen Weltteilen 1872, S. 358 f.

[2]) Hermann Guthe, Die Lande Braunschweig und Hannover. Hannover 1867. S. 29.

[3]) H. B. Geinitz, H. Fleck und E. Hartig, Die Steinkohlen Deutschlands und anderer Länder Europas. München 1865. Bd. I, S. 12.

anzusehen [1]). Am rauhesten hat aber die Nordsee jedenfalls Schleswig mitgespielt (s. Fig. 52); denn nirgends wechselten die Uferlinien rascher als in der ehemaligen Provinz Friesland. Sylt und Amrom sind fortwährend schmäler geworden; Nordstrand, ehemals ein Teil des Festlandes, wurde 1240 eine grofse Insel und dann durch Überflutung 1634 zerrissen. Man tröstet sich so gern, dafs das Meer den Schaden durch Anschwemmungen an anderen Stellen ersetze, und wohl geschieht dies auch; nur sollte man nicht vergessen, dafs die See mit solchem Erfolge nur ein sinkendes Land angreift. Dafs dem plötzlichen Einbruche des Meeres stets ein Sinken der Küste vorausgehe, konnte bei Schleswig archäologisch erwiesen werden; denn beim Ausgraben eines Kanals in der Nähe von Husum stiefs man auf einen unterseeischen Birkenwald und in diesem Walde auf einen Grabhügel mit Feuersteingeräten 97 bis 114 Centimeter unter dem Meeresspiegel.

Fig. 52.



Die Westküste von Schleswig.

Was Jütland betrifft, so hat Forchhammer den Nachweis zu führen gesucht [2]), dafs derjenige Teil, welcher nördlich der Linie Nissumfjord—Nyborg—Möen liegt, im Heben begriffen sei. Hierfür sprechen zahlreiche Strandgeschiebe und Schalen noch lebender Meerestiere, welche an Orten vorkommen, wohin kein Wellenschlag reicht, vor allem aber viele Ortsnamen, die auf holm (Gudumholm, Klarupholm, Trandersholm) oder ö (Aalsö) enden, welche Orte mit ihrer Feldmark jedenfalls Inseln waren, aber nicht mehr sind, sowie Sunde (wie der

[1]) G. Forchhammer in der Berliner Zeitschrift für allgemeine Erdkunde. Bd. I (1856), S. 473 ff.

[2]) Forchhammer in Oversigt over det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger for Aarene 1840 og 1841 (Kjöbenhavn 1842), p. XXV. — Poggendorffs Annalen. Bd. XLII (1837), S. 476 ff.

Kolindsund), die jetzt Binnenseen sind [1]. Auch hat man in einem Moore bei Eskjär, weit im Lande, Anker und ein Boot gefunden.

Bestätigt gilt uns ferner, dafs das südliche Schweden oder Schonen deutliche Spuren des Sinkens zeigt. In Malmö, dessen Strafsen bisweilen von der See überflutet werden, hat man ein altes Pflaster 2,6 Meter unter dem jetzigen entdeckt und in Trelleborg ebenfalls ein solches in 1 Meter Tiefe. Bei Ystad ist der Seestrand im Laufe von etwa 1000 Jahren um 3 Meter gesunken, wie die in unterseeischen Torfmooren gemachten antiquarischen Funde beweisen [2]. Da die Ostküste Schonens seit der Eiszeit eine Erhebung von über 30 Metern erfahren hat [3], so bleibt es zweifelhaft, ob sie gegenwärtig an der Senkung der übrigen Küsten teilnimmt.

Auch die baltischen Küsten Deutschlands sind stark gesunken. Unterseeische Torfmoore und vom Meere überflutete Wälder, welche noch aufrecht stehende Stämme zeigen, sprechen für eine Senkung der Küsten von Holstein, Pommern und Preufsen; Landverluste sind hier nichts Seltenes. So war die Insel Rügen ehemals fest, und erst 1510 bildete sich bei Pillau die Öffnung des Frischen Haffes 3390 Meter breit und 23 bis 28 Meter tief. Am Kurischen Haff vollzog sich die Senkung mindestens bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts. Hierfür sprechen die Beobachtungen alter Leute über zunehmende Höhe der Wasserstände, sowie das dadurch bedingte Absterben von Obstbäumen, Eichenwaldungen u. s. w., ferner die Auffindung unter Wasser geratener Bollwerke, Steinpflaster und dergleichen mehr. Aus den neuerdings vorgekommenen Uferabbrüchen der See darf man schliefsen, dafs gegenwärtig die Senkung noch fortdauert [4]. Dies gilt nach den Untersuchungen von F. E. Geinitz [5] vielleicht auch von den mecklenburgischen Küsten. Doch hat an der preufsischen Ostseeküste das Mittelwasser des Baltischen Meeres in der Periode der bisherigen Wasserstandsbeobachtungen (1826—1879) im allgemeinen unverändert dieselbe Lage bewahrt [6]. Wahrscheinlich haben infolge einer ehemaligen

[1] Letzterer ist in neuerer Zeit trocken gelegt worden.

[2] A. de Quatrefages in der Revue des deux Mondes. Tome LXXXVII (1870), p. 119. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. V (1870), S. 182 f.

[3] Verhandlungen der K. K. geologischen Reichsanstalt 1882, S. 35.

[4] Schriften der K. physik.-ökonom. Gesellschaft zu Königsberg. Bd. IX (1868), S. 193—211.

[5] Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXXV (1883), S. 301—305.

[6] W. Seibt, Das Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde (Publikation des K. Preufs. geodätischen Institutes). Berlin 1881. S. 81.

Senkung alle unsere grofsen Ströme eine Achtelswendung nach Norden ausgeführt. So flofs ursprünglich die Oder durch das untere Spreethal, den havelländischen Luch und das Elbebett in die Nordsee, als die Elbe noch im heutigen Aller- und Weserbette strömte und die Weser selbst durch den Jadebusen sich ins Meer ergofs, bis sich durch das Sinken der baltischen Küsten das Gefäll änderte und unsere Ströme in eine mehr nördliche Richtung gedrängt wurden.

An den Küsten von Livland und Esthland sind nur schwache Zeichen einer vor sich gehenden Hebung zu beobachten[1]; um so deutlicher treten sie uns jenseits des Finnischen Meerbusens in Finnland entgegen. Das Aufsteigen der finnischen Küsten beweisen nicht nur die regelmäfsigen, wallartigen, langgestreckten Streifen völlig abgerundeten Gerölles krystallinischer Gesteinsarten auf sanft geneigten Hügeln an der Küste, Streifen, die uns offenbar die ehemalige Strandlinie verraten, sondern auch viele Ortsnamen, welche mit Holm (kleine Insel), Ö (Insel), Sund (Meerenge, Durchfahrt), Wiek (Meeresbucht) enden, aber durchaus keine im oder am Meere gelegenen Orte bezeichnen. Die Traditionen der Uferbewohner nötigen zu der Annahme, dafs dieses Sinken des Meeresspiegels auch jetzt noch stattfindet. Wir besitzen sogar zuverlässige Messungen an der Küste Finnlands aus der zweiten Hälfte des vorigen und der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts. Hällström hat sie in den Acta societatis scientiarum Fennicae, Band 1, mitgeteilt, und hiernach beträgt die Hebung

bei Sveaborg	von	1800	bis	1840	0,24	Meter[2],
„ Jussari	„	1800	„	1837	0,22	„
„ Hängö-Udd	„	1754	„	1837	0,50	„
„ Åbo	„	1750	„	1841	0,52	„

Bei einer neuen Meeresaufnahme zwischen Åbo und den Ålands-Inseln im Jahre 1860 fanden sich 83 neue Bänke und Untiefen, welche auf den älteren Seekarten fehlten. Nun erscheint es aber kaum glaubhaft, dafs man bei den früheren Aufnahmen so viele für die Schifffahrt doch immerhin sehr beachtenswerte Objekte vergessen haben sollte; es liegt daher nahe, eine Vermehrung derselben infolge seculärer Hebung anzunehmen[3]. Ferner ist die Klippe Harrilaid zwischen Worms und Dagö vor dem Rigaer Meerbusen erst in diesem Jahrhundert binnen 24 Jahren aus einem unterseeischen Grandrücken eine wirkliche Insel geworden.

[1]) G. v. Helmersen im Bulletin de la classe physico-mathématique de l'académie impériale des sciences de St.-Pétersbourg. Tome XIV (1856), Nr. 13, Sp. 193—212.

[2]) Nach G. v. Helmersen, l. c. Sp. 196. 197.

[3]) Petermanns Mitteilungen 1862, S. 272.

An der schwedischen Seite des Bottnischen Busens hat bereits L. v. Buch eine Hebung aufser Zweifel gestellt. Zwischen Seivits und Nikkala (nicht weit von Haparanda) passierte er zwei austrocknende Meerbusen auf Brücken, nicht auf Booten, wie es die französischen Mathematiker 1736 gethan hatten [1]. Bei Innervik (in der Nähe von Skellefteå) fand er einen schmalen Meerbusen, über den man wenige Jahre vorher noch mit Booten fahren konnte, der aber nun so weit ausgetrocknet war, dafs die Strafse darüber hat hingeführt werden können [2]. Im Sommer des Jahres 1834 bereiste Sir Charles Lyell Schweden (bis Gefle), und er bestätigte, wie bereits früher erwähnt, das Aufsteigen jener Küsten [3]. Der Hafen von Gefle erwies sich bereits 1834 für die Schiffahrt zu seicht, weshalb man damit umging, ihn zu verlegen. Zwischen Gefle und Öregrund breiten sich überall am Meeresufer zwischen waldbedeckten Bergen flache Wiesen aus, welche, wie dem englischen Forscher aufs bestimmteste versichert wurde, noch im vorigen Jahrhundert vom Meere überflutet waren. Nach Sir Charles Lyells Untersuchungen beträgt die Hebung der Küste im Jahrhundert bei Sundsvall ($62^1/_3{}^0$ n. Br.) 1,36 Meter (Maximalwert), bei Gefle 0,85 Meter, in der Gegend von Stockholm 0,24 Meter, bei Kalmar 0,16 Meter (Minimalwert). Bei Sölvesborg (westlich von Carlskrona) erlischt die Bewegung gänzlich, um südlicher in ihren Gegensatz überzugehen.

Am Sund scheint bereits bei Landskrona und Helsingborg, wie aus dem raschen Versanden der dortigen Häfen geschlossen werden darf, die Hebung wieder zu beginnen. Nördlich von Göteborg ist sowohl durch eine Wassermarke [4], wie durch hoch über der Flutlinie liegende recente Muscheln ein Aufsteigen der Küste aufser Zweifel gestellt. Bei Christiania und Kap Lindesnäs wird keine solche Schwankung wahrgenommen. Doch sind Hebungen nachgewiesen worden von Bergen an, wo noch ein Aufsteigen um 3 Meter in tausend Jahren genügend beglaubigt worden ist, bis zur Altenbai bei Hammerfest, wo alte Strandlinien und Seemuscheln bis zu 200 Meter Höhe sich erheben. Freilich fehlen uns sichere Thatsachen für die Fortdauer der Erhebung; vielmehr haben wir ein unantastbares Zeugnis dafür, dafs bei Throndhjem die Küste in den letzten 850 Jahren

[1]) L. v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland. Berlin 1810. Bd. II, S. 278.

[2]) l. c. Bd. II, S. 289.

[3]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CXXV (1835), p. 1—38.

[4]) Sie wurde 1770 angebracht und 1834 von Sir Charles Lyell, 1866 von Lord Selkirk 0,7, resp. 0,9 Meter über der Meeresfläche gefunden.

nicht aufgestiegen ist. Vor dieser Stadt liegt nämlich die kleine Insel Munkholm, deren höchster Punkt 7 Meter über der mittleren Meeresfluthöhe, d. h. auf dem Durchschnitt zwischen Nipp- und Springfluten liegt und wo Kanut der Grofse im Jahre 1028 ein Kloster erbauen liefs. Wäre dort die Küste nur um einen mäfsigen Betrag gestiegen, so hätte im Jahre 1028 das Kloster unter der mittleren Fluthöhe oder wenigstens unter der Hochwasserlinie erbaut worden sein müssen, was natürlich unglaublich erscheint [1]).

Zu dem nordeuropäischen Erhebungsraum gehören auch Schottland und die Westküsten Grofsbritanniens, an denen die ehemaligen Uferlinien und Stufenabsätze auf Höhen von 365—550 Metern in der Nähe des Snowdon sich erhalten haben. Dafs aber diese Hebung in Schottland noch bis auf unsere Tage fortdauere, hat man daraus schliefsen wollen, dafs die Piktenmauer des Antoninus an ihren beiden Endpunkten, dem Firth of Forth und Firth of Clyde, nicht mehr die See erreiche, sondern durch eine Erhebung des Landes um 8 Meter von der Küste zurückgewichen sei; denn wie hätte der Wall die römischen Provinzen vor den Einbrüchen der Caledonier schützen sollen, wenn noch ein Zwischenraum zwischen See und Mauerende offen gelassen worden wäre? Immerhin könnte man sich denken, dafs selbst dann noch die Römer die Zwecke ihrer Befestigung erfüllt gesehen hätten, wenn nicht die Erhebung des Bodens durch Gen. Roy bestätigt worden wäre, der bei Falkirk Römerbauten aufgedeckt und als alte Docks erkannt hat, die jetzt landeinwärts im trockenen stehen. Die Ostküste Englands nimmt an diesem Aufsteigen nicht mehr teil. Was sich nämlich dort verändert, scheint nur einem Spiel der See zugeschrieben werden zu müssen, die so gern unbeschützte Küsten benagt, um anderen den Raub zur Vergröfserung zuzuwenden. So haben die Grafschaften Sussex und Kent wohl viel Land eingebüfst, und man würde daraus auf ein örtliches Sinken schliefsen dürfen, wenn nicht gleichzeitig in der Nähe ein Küstenwachstum stattgefunden hätte. So hat einer der gröfsten Kenner des britischen Mittelalters, der Oxforder Professor Rogers, in seiner Geschichte der Preise bewiesen, dafs Beccles in Suffolk noch im 14. Jahrhundert ein besuchter Hafen war. Jetzt vertritt seinen ehemaligen nautischen Beruf Lowestoft, von welchem binnenwärts Beccles volle zwei deutsche Meilen entfernt liegt.

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p. 194 sq.

IX. Über die Verschiebungen der Weltteile seit den tertiären Zeiten [1]).

Wenn wir auf einer Erdkarte alle Küsten, an denen eine Senkung und ein Landverlust in jüngeren Zeiten, und ebenso alle Küsten, an denen ein Wachstum des Landes oder ein senkrechtes Aufsteigen wahrgenommen wird, durch verschiedenfarbige Ränder uns bezeichnen (s. Fig. 47), um zu einem Gesamtüberblick dieser Erscheinungen zu gelangen, so erhalten wir den Eindruck, als ob sich beide Bestrebungen das Gleichgewicht hielten. Ein gegenseitiges Ausgleichen der Bewegungen nach aufwärts und nach abwärts darf auch daraus geschlossen werden, dafs längs derselben Küste sehr oft die Hebung übergeht in eine Senkung, oder dafs, wenn die eine Küste steigt, die gegenüber liegende Küste sinkt. Der erste Fall tritt bei Süd- und Nordgrönland, der andere Fall bei Neuseeland und bei Südamerika ein, welches letztere bei seinem chilenischen Rande sich aufrichtet, am ostpatagonischen sinkt. Oft auch kommt es vor, dafs die Erhebung der einen Küste ausgeglichen wird durch das Untertauchen eines gegenüber liegenden Landes. Dem Abwärtsschweben Südgrönlands entspricht eine Hebung in Labrador und Neufundland. In Skandinavien geht nicht nur die Hebung des nördlichen Teiles bereits in Südschweden zu einer Senkung über, sondern längs der ganzen Nordküste unserer Heimat, sowie an der cimbrischen Halbinsel und Holland bis zum Golf von Biscaya wird ein Verlust an Land und zum Teil an senkrechter Höhe beklagt.

Es handelt sich übrigens dabei um Erscheinungen sehr verschiedenen Ursprungs. Eine ganze Reihe von Erhebungen ereignet sich auf vulkanischem Gebiet und wird wahrscheinlich besonderen Kräften zugeschrieben werden müssen, während andere bei den secu-

[1]) Aus O. Peschels „Neuen Problemen“ (3. Aufl. S. 115–121). Dieser Abschnitt hat nur wenige Veränderungen erfahren.

lären Erhebungen grofser Ländergebiete thätig sind, die sich von jedem Verdachte vulkanischer Mitwirkung fern halten. Auch hat uns die Geologie eine Anzahl Beispiele geliefert, dafs an gewissen Örtlichkeiten die Küsten in rascher Zeitfolge geschwankt haben, so dafs ein Uferstreifen bald mit Wasser bedeckt war, bald wieder als trockenes Land aufragte. So wird auch mancher andere grofse Hebungsabschnitt durch Einschaltung von Senkungen und mancher grofse Senkungsabschnitt durch vergängliche Hebungen unterbrochen worden sein. Was also in der historischen oder der geologischen Zeit beobachtet worden ist, bürgt uns nicht dafür, dafs dort, wo Land kürzlich aufgestiegen ist, die Hebung fortdauere, oder dafs dort, wo wir eine Senkung gegenwärtig beobachten, nicht eine Hebung vorausging und nachfolgen werde. Wenn wir insbesondere die Vorgänge auf vulkanischem Gebiet als örtliche Erscheinungen eigener Art von der Gesamtbetrachtung ausscheiden, so ergiebt sich schliefslich doch, dafs die heutigen Hebungen und die heutigen Senkungen überall da auftreten, wo seit den tertiären Zeiten ein Vordringen oder ein Zurückziehen der Festlande stattgefunden hat.

Indem wir die gesamten Hebungs- und Senkungserscheinungen überblicken, erkennen wir, dafs die Erdfesten seit den tertiären Zeiten nach zwei Richtungen an Raum gewonnen haben: sie suchen sich nach dem Norden und nach dem Westen der Erde auszudehnen, während im Süden und im Osten des jetzigen trockenen Landes lauter verlorene Erdteile liegen. Hieraus geht zugleich hervor, dafs an der Südostseite aller Kontinente die Inselbildung am reichsten ist.

Australien mufs ehemals viel geräumiger gewesen sein. Tasmanien gehörte ihm noch vor vergleichsweise kurzer Zeit, Neuguinea vor längerer Zeit an. Aber auch gegen Osten hat es an Ausdehnung verloren; denn dort erstreckt sich das bekannte und gefürchtete Barrière-Riff, dessen Korallenmauer zu beträchtlichen Tiefen hinabsinkt und die Uferlinien des vormaligen Ostaustralien uns noch aufbewahrt hat. Aber auch aufserhalb der Korallenbarrière schwärmt die See ostwärts von Riffen, zu denen sich auch einige Inseln gesellen. Überhaupt gewahren wir nicht auf seiner West-, wohl aber auf seiner Ostseite Inseln und dort auf beträchtlichem Abstande auch gröfsere Inseln, die verdächtig sind, ihm, wenn auch vielleicht vor den tertiären Zeiten, angehört zu haben, nämlich Neu-Caledonien [1]) und in einer ferneren Vergangenheit auch Neuseeland.

[1]) Neu-Caledonien besitzt keine anderen Säugetiere als Fledermäuse; alle anderen sind erst von Menschen eingeführt worden. V. de Rochas Nouv. Calédonie. p. 59. 69.

Ein Zurückziehen der Ostküste Asiens wird ebenfalls durch verschiedene Anzeichen bestätigt. Japans Tierwelt berechtigt uns zu dem Schlufs, dafs es ehemals mit dem malayischen Indien besser als jetzt verbunden gewesen und seitdem auf seinen heutigen Umfang eingeschrumpft sein mufs, wenn es auch neuerdings dank dem Umstande, dafs es auf einem Gebiete vulkanischer Thätigkeit liegt, zu den aufsteigenden Inselgruppen gezählt wird [1]). Weit schärfer sind die Vorgänge in den Räumen zwischen Australien und Südostasien jetzt ermittelt worden. Australien besafs zu der Zeit, wo in der Alten Welt noch Beuteltiere hausten, einen trockenen Zusammenhang mit Asien, der schon am Beginn der tertiären Zeit oder etwas früher zerrissen wurde. Selbst dann blieben noch, wie eine Untersuchung der Fauna jener Inseln lehrt, Java, Borneo, die Halbinsel Malakka und Sumatra unter sich und mit dem indochinesischen Asien vereinigt, bis sich auch dort das Festland in Inseln zerstückte. Das Südchinesische Meer ist vielleicht gänzlich oder teilweise das Erzeugnis einer tertiären Senkung gewesen; denn noch jetzt dauert das Untertauchen längs der Küste von Kuang-tung und Anam fort. Man beachte wohl, dafs der gesamte Ostrand Asiens, sowie der Südosten reich ist an Inseln und Inselwelten und alle Inseln eine Senkung und einen Länderverlust andeuten mit Ausnahme derer, die auf vulkanischem Gebiete ruhen.

Die gröfste Veränderung in der Alten Welt aber fand statt durch das Wachstum des nördlichen Rufslands, so weit etwa die Tundren reichen, und des transuralischen Asiens. Dieses weite europäisch-sibirische Flachland wurde erst in einer sehr neuen geologischen Periode, nämlich während der sogenannten Diluvialzeit, vom Wasser abgelagert, da östlich und westlich vom Ural jede Spur von Sedimenten aus der tertiären, Kreide-, Jura- und Triasperiode fehlt [2]). In Nordasien erstreckte sich das Meer in den tertiären Zeiten bis zum Baikal-See, einem alten Küstenfjord, der nach neueren Messungen eine Tiefe von 1248 Metern [3]), nach anderen Messungen sogar die kaum denkbare Tiefe von ziemlich 4000 Metern erreichen soll [4]), und bis nahe an den Altai; ja, wahrscheinlich verbreitete es sich sogar bis zum Kaspischen

[1]) Dafs die Meeresräume ostwärts der vulkanischen Inselschnuren Nordostasiens in lebhafter Senkung begriffen sind, darf vielleicht daraus gefolgert werden, dafs sich dort in der Nähe der Kurilen die gröfsten bisher beobachteten Meerestiefen vorfinden (bis 4655 Faden). Es scheinen demnach wirklich an dem Ostrande Asiens vulkanische Kräfte das Streben nach Senkung teilweise zu paralysieren.

[2]) Bernh. v. Cotta im Ausland 1869, S. 290. 292; B. v. Cotta, Der Altai. Leipzig 1871. S. 57.

[3]) Globus. Bd. XXI (1872), S. 224.

[4]) Gaea 1878, S. 306.

Meere und vor dem Aufsteigen des Kaukasus bis in den Pontus. Demnach war Europa damals gänzlich von Hochasien getrennt. Daſs noch jetzt Sibirien, soweit es genügend erforscht ist, nach Norden wächst, wurde bereits angeführt.

Im Indischen Ocean, also im Süden und Osten der Alten Welt, müssen ehemals gröſsere Länderräume bestanden haben. Zwar wird das Festland „Lemuria", von welchem Madagaskar der letzte namhafte Überrest sein soll, gegenwärtig von vielen Seiten als ein Phantasiegebilde erklärt, da die dortigen Säugetiere (vor allem die Lemuren oder Halbaffen, Borstenigel und Zibethkatzen) zur Eocän- und Miocänzeit weit über die Erde, zum Teil sogar bis Europa verbreitet waren, also nicht notwendig von Indien gekommen sein muſsten [1]). Auſserdem schrecken die groſsen Meerestiefen zwischen Madagaskar und Indien von der Annahme eines solchen versunkenen Kontinentes zurück [2]). Auf der anderen Seite aber lehren neuere paläontologische Untersuchungen, daſs eine Linie von Madagaskar nach Südindien eine bedeutsame Grenze der marinen Ablagerungen der mesozoischen Zeit ist; demnach muſs während eines groſsen Teils derselben jene Landbrücke zwischen Madagaskar und Indien existiert haben. Ob dieselbe gegen Ende der Oligocänzeit noch vorhanden war, ist zwar fraglich; doch spricht hierfür auſser den übereinstimmenden Tierformen namentlich die Erwägung, daſs damals Afrika und Asien wohl noch nicht über Arabien mit einander verbunden waren und somit Afrika wahrscheinlich auf dem Wege über Lemuria aus Indien seine ältere Säugetierbevölkerung erhielt [3]). Zu diesem alten Festlande gehörten auſser Madagaskar die granitischen, jetzt sinkenden Seychellen, die Malediven und Ceylon. Man übersehe wiederum nicht, daſs sich hier die Ost- und Südküsten der Alten Welt als Senkungsfelder besonders inselreich bewähren; denn Inseln auf hoher See deuten immer auf Zerreiſsung von Festland. Nur darf man auf dem genannten Raume nicht an die Maskarenen denken, die als vulkanische Inseln eine Senkung weder bezeugen noch widerlegen.

Nicht so einfach sind die Schicksale Europas gewesen; aber dieses gliederreiche Stück Erdoberfläche läſst uns schon in seinem Antlitz lesen, daſs es auf einem Schauplatz widerstreitender Kräfte und eines harten Kampfes von Wirkungen und Gegenwirkungen gelegen ist.

[1]) Vgl. hierzu die schönen Ausführungen in Alfred Russel Wallaces Island life. London 1880. p. 383—396.

[2]) Siehe Krümmels Tiefenkarte des Indischen Oceans in Kettlers Zeitschrift für wissenschaftliche Geographie. Bd. II (1881), Tafel 2.

[3]) W. Neumayr in dem Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie 1881, Band II, S. 191. 192 (Referate).

Im allgemeinen mufs jedoch eingestanden werden, dafs Europa seit der tertiären, ja selbst noch seit der Eiszeit beträchtlich an Gebiet verloren hat. Die Nordsee war ehemals so wenig vorhanden wie der Ärmelkanal; ja, es erstreckte sich unser Festland in der tertiären Vergangenheit über die Färöer und Island nach Grönland und stand in fester Verbindung mit Nordamerika. Können die Tiefenkarten uns noch etwas von den ehemaligen oceanischen Ufern verraten, so war das nordatlantische Becken in den Vorzeiten viel schmaler und reichte nur mit einigen schmalen Armen teils zwischen Island und Grönland, teils zwischen Island und den Färöern, teils zwischen diesen und den Shetlands-Inseln hinauf. Damals war Jütland mit Südschweden verbunden, und die Ostsee öffnete sich nach dem Weifsen Meer, was namentlich dadurch bewiesen wird, dafs Muscheltiere (wie Yolida pygmaea), die jetzt nur bei Spitzbergen lebendig vorkommen, an der Küste des mittleren Schwedens fossil im Gletscherlehm sich finden; auch werden auf dem Boden des tiefen Wener- und Wettersees noch lebende arktische Crustaceen angetroffen [1]).

Ehe sich im Nordwesten Europas die Verbindung der Festlande ganz aufgelöst hatte, hingen Spanien und Afrika noch fest an einander; denn dafs die Strafse von Gibraltar noch nicht geöffnet war, bezeugen uns neben unzähligen anderen Übereinstimmungen der Tier- und Pflanzenwelt an beiden Ufern des Mittelmeeres die Affen am Tarikfelsen [2]), die leider bis auf eine einzige Familie jetzt ausgestorben sind. Erst am Ende der Tertiärzeit und während des Diluviums bildete sich aus einem kleinen Binnensee, der nur die Westhälfte des heutigen mediterranen Beckens einnahm, durch allmähliches Vordringen gegen Osten das heutige Mittelmeer. An Stelle des griechischen Archipels breitete sich damals ein an Süfswasserseen reiches Festland aus, und es bestand noch kein Zusammenhang zwischen dem Schwarzen Meere und dem Mittelmeer. Vielmehr traten beide durch den Bosporus erst mit einander in Verbindung, nachdem Pontus und Kaspisches Meer sich von einander geschieden hatten [3]), da dem letzteren alle die Fische fehlen, welche das Schwarze Meer dem Mittelländischen entlehnt hat. Hier hat also in neuerer Zeit das Mittelmeer an Umfang

[1]) A. Bastian in einem Aufsatze „Zur Ethnologie des alten Europa" in der Zeitschrift für Ethnologie. Bd. I (1869), S. 98, Nota 2.

[2]) Gibraltar ist eine Verstümmelung aus Dschebel Tarik.

[3]) Das erstere geschah am Ausgang der Diluvialzeit, das letztere in der Miocänzeit. Vgl. hierzu M. Neumayr in den Verhandlungen der K. K. geologischen Reichsanstalt 1875, S. 32 und M. Neumayrs Geschichte des östlichen Mittelmeergebietes (Heft 392 in der Sammlung wissenschaftlicher Vorträge, herausgeg. von Virchow und v. Holtzendorff).

gewonnen. Andererseits verlor dasselbe wieder, und zwar in der geologischen Gegenwart, ein Stück der Sahara im Süden von Tunis, da, wo noch jetzt die Salzsümpfe liegen; jedoch reichte das Wasser auch nicht viel weiter nach Westen und nicht viel weiter nach Süden. Eine zweite Verbindung des Mittelmeeres mit dem Indischen Ocean scheint sich gegenwärtig vorzubereiten; denn die Nordküste des Nildeltas ist im Untertauchen begriffen, obgleich die benachbarte syrische Küste wächst und die Uferwände des Roten Meeres aufsteigen.

Wir bemerken also in Europa im Gegensatz zu den übrigen Veränderungen der Erdoberfläche einen Verlust von Land im Westen wie im Norden, dreifach bestätigt durch die Vergleiche der Artenstatistik von Tieren und Pflanzen, durch die Meerestiefen und durch die vorhandenen Inselbildungen.

Von der Westküste Afrikas fehlen Angaben über beobachtete senkrechte Bewegungen der Ufer; dagegen ist ein Landzuwachs nördlich vom Äquator durch Anschwemmung von Flüssen allenthalben nachweisbar. Die gesamte Westküste ist von vulkanischen Inseln umgeben. Da auf einem Teile derselben, besonders auf den Canarien und Capverdischen Inseln, das nichtvulkanische Grundgebirge bedeutende Strecken einnimmt[1]), so liegt die Vermutung nahe, daſs hier ein gröſserer Länderraum ins Meer gesunken sei. Indes beweisen die altertümlichen Pflanzentrachten dieser Inseln, daſs sie bereits in der Tertiärzeit dem Festland weit entrückt und von einander getrennt waren. Afrika hat also seit dieser Zeit auf der Westseite allen Anzeichen nach kaum wesentlich an Gebiet verloren.

Am deutlichsten zeigt sich ein Verschieben von Ost nach West bei den beiden amerikanischen Festlanden. Dort kann kein Zweifel herrschen, daſs der östliche Rand der ältere, der westliche der jüngere der Kontinente sei; denn auf dem nördlichen Kontinent erfolgte die Faltung der Alleghanyketten viel früher als das Aufsteigen der Felsengebirge. Die geologischen Karten von Südamerika beruhen allerdings noch auf sehr ungenauen Erforschungen; doch steht immerhin so viel fest, daſs das Gebirgsland Guyanas, sowie die Hochländer von Brasilien um vieles ältere Erhebungen sind als die Anden, die überhaupt zu den jüngsten Erhebungen zählen, wie man schon aus dem fast schnurgeraden Verlaufe der Westküsten zu schlieſsen berechtigt wäre.

[1]) Vgl. hierzu K. v. Fritsch, Reisebilder von den Canarischen Inseln (Ergänzungsheft Nr. 22 zu Petermanns Mitteilungen 1867). S. 3. 15. 18. 27. 32 und Corn. Dölter in den Verhandlungen der K. K. geologischen Reichsanstalt zu Wien 1881, S. 156 f.

Nordamerika hat sich in früheren geologischen Zeiten weit tiefer in das Atlantische Meer hineinverbreitet, zumal im Norden, wo die früher vorhandene trockene Verbindung mit dem tertiären Europa durch Verlust an Gebiet gänzlich zerstückt worden ist. Die Untiefen östlich und südlich von Neufundland, sowie die geräumige Beaufort- oder Milne-Bank, welche der 40. westliche Mittagskreis (Greenwich) mitten durchschneidet, dürfen uns wohl noch als Überreste von Land aus einer vergleichsweise nahen Vergangenheit gelten. Ein Grenzstein des ehemaligen Nordamerika ist uns noch in der Bermudas-Gruppe erhalten worden. Zwar ist sie zunächst ein Bauwerk von Korallen und steigt aus grofsen Seetiefen auf; allein die Flur, auf welcher sich die untersten und ältesten Polypen festsetzten, mufs ja nach dem Gesetz solcher Bildungen der Oberfläche der See sehr nahe gewesen sein. Auch jetzt noch taucht sie, wie wir erkannt haben, unablässig tiefer in das Meer hinab. Dafs ferner östlich von den Alleghanies ehemals ein Festland mit hohen Gebirgen gestanden sei, dessen Süfswasser über die damals noch nicht gefalteten Appalachenketten nach Westen abflossen, hat Sir Charles Lyell daraus gefolgert, dafs der Geröllschutt, welcher das grofse Ohiokohlenbecken bedeckt, je mehr man sich dem Atlantischen Meere nähert, und zwar bis in die Nähe von Philadelphia, immer gröber wird; zugleich nimmt er nach derselben Richtung hin an Mächtigkeit zu. Noch jetzt dauern übrigens dort die Einbrüche des Meeres fort, und die Ostküste der Vereinigten Staaten gehört zu denjenigen, die sich zurückziehen. Vergleichen wir die beiden Küstenränder Nordamerikas, den atlantischen mit dem pacifischen, so finden wir an der Westseite nur Fjorde und Fjordinseln, deren Entstehung in einem der folgenden Abschnitte erklärt werden soll, oder eine vulkanische Gruppe, wie die Revillagigedos. Der Ostrand dagegen ist reich an solchen Inseln, die wir als abgelöste Festlandsstücke erkannt haben. Wir rechnen dahin Anticosti, Neufundland und, wenn wir die Früchte einer fernen Zukunft noch unreif brechen dürfen, auch Neuschottland, welches mit dem Festlande nur durch einen dünnen Rücken verbunden ist, gegen welchen die mächtigsten Fluterscheinungen der Erde, nämlich die in der Fundybai, zweimal täglich Sturm laufen, um jene Halbinsel in ein anderes Neufundland zu verwandeln.

Mittelamerika gegenüber liegt wiederum auf der Ostseite eine uralte, vielleicht vortertiäre Inselwelt als Ergebnis einer Senkung von Festland. Als Ersatz erfolgte die Verknüpfung des südlichen mit dem nördlichen Weltteile auf der Enge von Panama in einer nicht allzufernen Vergangenheit. Dort war früher eine Meeresstrafse, wie neuere Besichtigungen von Geologen uns gelehrt haben und wie es auch die

Thatsachen der Tier- und Pflanzenverbreitung fordern; denn die südamerikanische Schöpfung ist eine Welt für sich geblieben wie die australische, nicht völlig so altertümlich in den Formen wie diese, immerhin nicht so modern in ihren Trachten wie Nordamerika oder die Alte Welt.

Der Westrand des südlichen Festlandes gehört zu den inselreinsten Uferstrecken der Erde; selbst Küsteninseln aufserhalb der Breiten, wo Fjorde auftreten, sind auffallend sparsam, während die vorliegenden oceanischen Gruppen, nämlich die Galápagos und die beiden Inseln Juan Fernandez und Mas-a-fuera, zu den vulkanischen Schöpfungen gehören. Ungleich anders sieht der atlantische Rand aus. Im Süden bezeugen uns die Falklandsinseln durch ihre Tierwelt, dafs das Festland ehemals sie mit eingeschlossen habe, und noch jetzt gehört die patagonische Küste zu den sinkenden. Ihre tiefen Ufereinschnitte, wie die Matias- und die Blancabai und weiter nördlich der Rio de la Plata, welcher letztere gewifs nicht ein sogenanntes Ästuarium des Parana und Uruguay ist, sind in unseren Augen Wahrzeichen eines Zurückziehens des Festlandes, wenn auch gar nicht geleugnet werden soll, dafs hier, wie die Küstenterrassen es bezeugen, vorübergehend Perioden der Hebung jenen Prozefs verzögerten. Untiefen und Bänke vor der dortigen Küste, Klippen, wie die von Martin Vaz bei Trinidad, und die letztere Insel selbst deuten auf eine vormalige Ausdehnung des Festlandes gegen Osten. Dagegen dürfen wir die Felsplatten St. Peter und St. Paul, welche auf einer vulkanischen Spalte liegen und von denen die letztere neuerdings als eine ältere Vulkaninsel erkannt worden ist, eben deswegen nicht mit Sicherheit als Denkpfeiler eines ehemaligen Vordringens der südamerikanischen Ostküste betrachten. Vor der Mündung des Amazonas ist jedoch beträchtlich viel Land verloren gegangen, wie Dom João Martins da Silva Coutinho, der Begleiter Agassiz' auf seiner Erforschungsreise nach Brasilien, nachgewiesen hat[1]). Der Mündungstrichter des Amazonas ist nämlich ebenso wenig ein Delta, wie die dortigen Inseln Anschwemmungen von jungem Schuttland sind, sondern sie sind durch einen Einbruch des Meeres entstanden. Agassiz selbst nimmt an, dafs vor der Amazonasmündung festes Land mit hohen Gebirgen gelegen haben müsse, eine Ansicht, von der wir nur lebhaft wünschen könnten, dafs sie sich streng erhärten liefse.

Überblicken wir noch einmal unsere Ergebnisse, so gewinnen wir zunächst Zutrauen zu der Annahme, dafs die Verluste der Festlande seit den tertiären Zeiten wieder ausgeglichen worden sind durch Zu-

[1]) Ausland 1868, S. 159.

wachs in anderen Räumen und dafs das Flächenverhältnis zwischen Wasser und Land, welches etwa wie 11 : 4 jetzt ermittelt worden ist, in früheren (wenn auch nicht den ältesten) Erdzeitaltern das nämliche gewesen sein mag. Wir schlossen aber weiter, dafs vormals das Land anders verteilt gewesen sein müsse, dafs die nördliche Halbkugel mehr Land gewonnen als verloren, die südliche mehr Land verloren als gewonnen habe. Ferner ergab sich mit einer einzigen Ausnahme, dafs die verlorenen Gebiete alle östlich von den jetzigen grofsen Weltteilen liegen, die neu erworbenen Gebiete alle westlich, dafs also das Trockene nach Westen flieht, weshalb auf ihrer Ostseite die alten Festlande immer abgelöste Stücke hinter sich zurücklassen, während ihre westlichen Uferlinien fast gänzlich frei sind von Inseln, abgesehen immer von den vulkanischen Bauwerken, die örtlich wirkenden Kräften ihren Ursprung danken.

X. Geographische Homologien[1]).

In den Seen, welche die Malayen bewohnen, folgen von West nach Ost drei gröſsere Inseln auf einander: Borneo, Celebes und Gilolo oder Halmahera, deren bedeutungsvolle Ähnlichkeit, seit durch die Holländer genauere Karten der dortigen Erdräume verbreitet wurden, schon manchen erdkundigen Beobachter zum Nachsinnen angeregt hat. Vielleicht tritt auf unserem Planeten keine Insel in einer so scharfen Individualisierung auf wie Celebes; denn sie gleicht beinahe dem Buchstaben K oder einem ausgespannten Fächer. Die nämliche absonderliche Gestaltung wiederholt sich in dem nachbarlichen Gilolo. Hier ist die K-Form noch reiner ausgeprägt; auch besteht der Fächer wie bei Celebes aus vier Gliedern und ist genau nach derselben Himmelsrichtung wie bei Celebes geöffnet. Aber auch zwischen Celebes und Borneo sind einige, wenn auch verdeckte Ähnlichkeiten zu finden. So bemerken wir an der Nordostküste Borneos einen rüsselartigen Auswuchs und in der Mitte der Ostküste eine bajonettartige Zunge, als wollte sich die Insel nach dem Muster des schwesterlichen Celebes fächerförmig in Halbinseln zerteilen. Würde sich die Ostküste Borneos ins Meer senken, so daſs nur die gebirgigen Teile noch über dem Wasser blieben, so würde die Ähnlichkeit mit Celebes viel sichtbarer werden. Denkt man sich umgekehrt die vielen einspringenden Golfe von Celebes durch angeschwemmtes Erdreich ausgefüllt, so würde diese Insel dem geschwisterlichen Borneo in Bezug auf die Umrisse sehr nahe kommen[2]). Gewiſs, wenn es jemals gelingen sollte, die Ursachen zu erkennen, weshalb sich solche verwickelte und doch so scharf ausgeprägte Inselformen in rascher Folge dreimal wiederholen

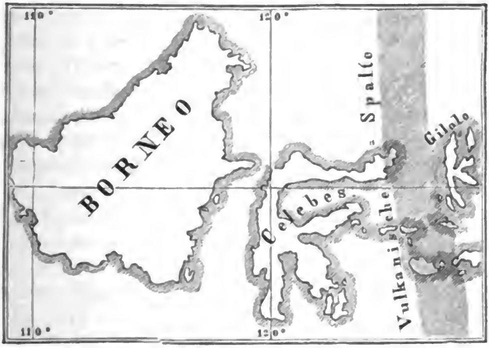
[1]) Aus Peschels „Neuen Problemen“ (3. Aufl. S. 66—74).

[2]) Peschel veröffentlichte das Obige zuerst am 14. Mai 1867; es war ihm höchst erfreulich, dasselbe später fast wörtlich von Wallace bestätigt zu hören. The Malay Archipelago. London 1869. Vol. I, p. 231.

müssen, würden wir noch andere grofse Geheimnisse entschleiern können, nämlich die Thatsachen, von denen die Gliederungen der trockenen Erdoberfläche überhaupt abhängen mögen.

A. v. Humboldt, der sich die Gebirge als ein Aufsteigen des heifsflüssigen Erdinnern durch Spalten in der Planetenrinde erklärte, bemerkt in der Sprache dieser Hypothese: „Der Konflikt der Kräfte bei gleichzeitiger Öffnung von Spalten entgegengesetzter Richtungen scheint bisweilen wunderbare Gestaltungen neben einander zu erzeugen: so in den Molukken Celebes und Gilolo.“ Ein kleiner Gewinn an geschärfter Einsicht dürfte sich an die Wahrnehmung knüpfen, dafs zwischen beiden Inseln (Fig. 53) eine breite Spalte vulkanischer

Fig. 53.
Längen östlich von Greenwich.



Fächerförmige Inselbildungen der Molukken-See.

Thätigkeit hindurch läuft, welche Gilolo in den Vulkanen der kleinen Molukkeninseln, der ursprünglichen Heimat der Gewürznelken, sehr nahe streift; Celebes dagegen trägt Vulkane nur an seiner Nordspitze, und, wie Wallace versichert, finden sich Spuren vulkanischer Thätigkeit höchstens noch auf seiner südlichen Halbinsel in den dortigen Basalten, wenn man diese dafür gelten lassen will. Es ist aber sehr belehrend, dafs der Durchgang einer vulkanischen Spalte nicht das mindeste an der doch so leicht zu unterdrückenden Fächerform der beiden Inseln zu ändern vermocht hat, was eine Schwäche der dortigen vulkanischen Kräfte verraten möchte. Wohl äufsert Wallace sonst noch die Vermutung, dafs Celebes durch allmähliche Anschwemmung und Ausfüllung seiner Golfe der Insel Borneo ähnlich werden

möchte, und er scheint zu behaupten, dafs bei ihm mit fortschreitender Altersreife gleichsam die Fettbildung nicht ausbleiben könne [1]). Wir unsererseits sehen in Celebes ein abgemagertes Borneo, welches längst verschwunden wäre, wenn nicht seine Gebirge als Beingerüst uns die ehemaligen Umrisse des Landes noch zu ziehen erlaubten. Bei Gilolo endlich ist das Verhängnis schon weiter fortgeschritten. Für die Anschauung, dafs wir in jenen Inseln die Reste gesunkener Ländermassen vor uns haben, spricht auch die Geschichte jener Erdräume, soweit sie sich aus den Pflanzen- und Tierresten ermitteln läfst. So sollte man von Celebes, im Schofse der indisch-australischen Inselwelt gelegen und mit ihr durch Trabanteneilande wie durch Korallenriffe vielfach verknüpft, mit Recht erwarten, dafs ihm von allen Seiten Tier- und Pflanzenarten zugewandert wären und seine Schöpfung uns einen Abrifs der gesamten südostasiatischen organischen Welt darstellen sollte. Statt dessen steht es völlig selbständig und vereinsamt da, wenig Anklänge an Australien und fast ebenso wenige an Asien bietend, während seine Säugetiere durch geheimnisvolle Familienzüge an die afrikanische Fauna erinnern. Zu diesen merkwürdigen Gestalten gehören ein seltsamer pavianartiger Affe (Cynopithecus nigrescens), ein antilopenartiges Rind oder Büffel (Anoa depressicornis oder Sapi-utan) und der Babirussa, welcher dem afrikanischen Warzenschwein verwandt ist [2]). Tertiäres oder modernes Gebiet ist wenig vorhanden; denn die Gebirge gehören entfernteren Weltaltern an und sind überall und allseitig zerklüftet, das morsche Gerüst eines uralten Stück Erdbodens.

Für die Wiederkehr der nämlichen Gestaltungen, sei es in den flachen Umrissen, sei es in den Bodenerhebungen, die wir auf den Ländergemälden unserer Erde abgebildet finden, hat Agassiz den glücklichen Ausdruck „geographische Homologien" gefunden. Er entlehnte ihn der vergleichenden Anatomie, die damit ideale Ähnlichkeiten bezeichnen will, welche sich auf die allmählich fortschreitende Umbildung von Körperbestandteilen und Gliedmafsen gründen. Wir mögen von den Gegenständen, welche die Kartenzeichner abbilden, betrachten, was wir wollen, seien es grofse Festlande, Halbinseln, Inseln, Gebirge, Seen, Golfe, Süfswasserbecken oder Flüsse, überall stofsen wir auf Wiederholungen und Ähnlichkeiten im grofsen wie im geringen. So haben wir in einem früheren Abschnitte (S. 253 ff.) schon die Rassenmerkmale der kleinen Inseln bezeichnet, welche auf den Lippen der sogenannten vulkanischen Spalten aufgestiegen sind

[1]) Dies geschah in früheren Schriften.

[2]) Alfred Russel Wallace, The Malay Archipelago. Vol. I, p. 432 sq. Vgl. hierzu den Abschnitt: Über den Ursprung der Inseln.

und die an Perlen erinnern, welche, aufgereiht an einer Schnur, im flachen Bogen schweben. Selbst gröfsere vulkanische Inseln, wie Sumatra, Java und die Kleinen Sunda-Inseln, verleugnen diesen Charakterzug nicht. Die Inseln, welche von Korallen erbaut werden, besitzen einen eigenen bekannten Typus, der örtlich wiederum sehr ausgeprägte Formen annimmt. So bemerken wir in der Bahama-Gruppe die Wiederholung von Gestalten, die einige Ähnlichkeit mit einem Fischhaken besitzen. Anderwärts, wie in der Gruppe der Tuamotu-Inseln, bilden sie kleine ringförmige Eilande, Atolle genannt. Ein Familienzug ist allen Individuen der vulkanischen Salomonengruppe in der Südsee gemeinsam. Sie erscheinen wie die scharfen, lückenreichen Kämme eines doppelten, aus der See sich aufrichtenden Gebirgszuges, und dieser Typus setzt sich bei gleicher Streichungslinie noch fort nach Neu-Irland und Neu-Hannover.

Bei sehr vielen Gebirgen ist ein paralleles Streichen der Ketten oder der Falten sehr gewöhnlich, z. B. bei dem Schweizer Jura, dem Atlas, den Alleghanies und anderen. Auf A. v. Humboldt wirkte besonders anregend der symmetrische Bau der dreifachen Kette der peruanischen Anden, wo sich jede Schwenkung oder Abbiegung von der allgemeinen Streichungslinie bei allen drei Ketten wiederholt. Auch einspringende Golfe zeigen mitunter auf grofse Entfernungen ein symmetrisches Verhalten. Das Gestade von Afrika am Roten Meere und am Meerbusen von Aden bildet einen einspringenden Winkel von etwas mehr als 90°. Die ziemlich strenge Wiederholung des einspringenden Winkels von gleicher Gröfse gewahren wir an dem arabischen Ufer des Persischen Meerbusens; ja, wenn man diesen Golf verläfst, so wiederholt sich in der Strafse von Ormus und später noch einmal bei Maskat das Einspringen von Winkeln in den Umrissen Arabiens.

An der Nordküste eines Festlandes werden sich nur Halbinseln finden, die mehr oder weniger gegen Norden gerichtet sind; an den West- und Ostküsten der Festlande dagegen können die Halbinseln sowohl nach Süden wie nach Norden gerichtet erscheinen. Betrachten wir nun den Norden der Erde, so gewahren wir, dafs kräftige Halbinselbildungen nur an den russischen Küsten auf der kurzen Strecke zwischen dem Weifsen Meere und der Lenamündung auftreten. In Ostsibirien fehlen sie gänzlich, ebenso wie in Nordamerika; man müfste denn an das ungefüge Labrador oder an das kleine Boothia Felix denken. An den Südküsten der Festlande dagegen streben alle Ländermassen nach einer halbinselförmigen Zuspitzung. Das Merkwürdigste aber ist, dafs an den West- und Ostküsten der Festländer Halbinseln heraustreten, die mehr oder weniger gegen Süden, keine, die gegen

Norden gerichtet sind, wie dies bereits der Schwede Torbern Bergmann vor einem Jahrhundert (1773) aussprach. An der Ostküste Asiens folgen sich auf einander Kamtschatka, Sachalin, eine Insel zwar nach der gewöhnlichen Sprachweise, im Grunde aber eine versteckte Halbinsel, weil sie nur durch eine seichte Meerenge vom Festland abgeschieden wird, dann Korea. Im Westen von Nordamerika haben wir Alaska und Nieder-Californien, im Osten Florida. Yucatan ist zwar eine Halbinsel, die ein wenig nach Norden gerichtet erscheint; doch gehört sie einem inneren, seichten Meere an, und wir betrachten hier nur die oceanischen Umrisse. Bedeutsam ist der Mangel an Halbinseln in Südamerika; denn solche schwächliche Gliederungen wie die Halbinseln Guajira, Paraguana und Paria ziehen wir nicht in Betracht. Vollständig mangelt auch eine wahre peninsulare Gliederung dem afrikanischen Festland, mit einziger Ausnahme vielleicht seines zugespitzten Osthorns, welches im Kap Guardafui endigt. Ist die südamerikanische Pyramide durch die mittelamerikanischen Engen an den nördlichen Kontinent befestigt und liegt im Osten von dieser Brücke die Inselwelt der Grofsen und Kleinen Antillen, so wird eine ähnliche Verbindung Australiens mit Südasien durch die Halbinsel Malakka mit Unterstützung der grofsen Inseln Sumatra, Java, sowie der Sunda- und Banda-Gruppe angestrebt, die ihrer Gliederung und Richtung nach die mittelamerikanischen Landengen vertreten und in deren Osten abermals Inseln liegen. Um die Ähnlichkeit noch zu vermehren, sind sowohl auf den mittelamerikanischen Isthmen wie auf den Antillen die Vulkane so häufig wie auf den Inseln zwischen Asien und Australien. Beiläufig bemerkt ist es das Verdienst Adalbert v. Chamissos, auf die Homologie dieser beiden Erdräume zuerst die Aufmerksamkeit gelenkt zu haben [1]).

Die lehrreichsten Ähnlichkeiten sind jedoch in den Umrissen Südamerikas, Afrikas und Australiens wahrzunehmen. Lord Bacon bezeichnete schon die Südspitzen Afrikas und Südamerikas als homologe Bildungen (similitudines physicae in configuratione mundi) [2]); dann erkannte Joh. Reinh. Forster die Ähnlichkeit Australiens mit den beiden anderen Kontinenten [3]). Freilich hielt man zu seiner Zeit die Insel Tasmanien noch für einen Zubehör des australischen Festlandes; denn die Bafsstrafse wurde erst 30 Jahre nach der Reise des älteren

[1]) A. v. Chamissos Werke. Leipzig 1852. Reise um die Welt. Bd. II, S. 44.

[2]) Francisci Baconi novum organum. Lib. II, Aphor. 27. Opera. Amstel. 1684. Vol. II, p. 232.

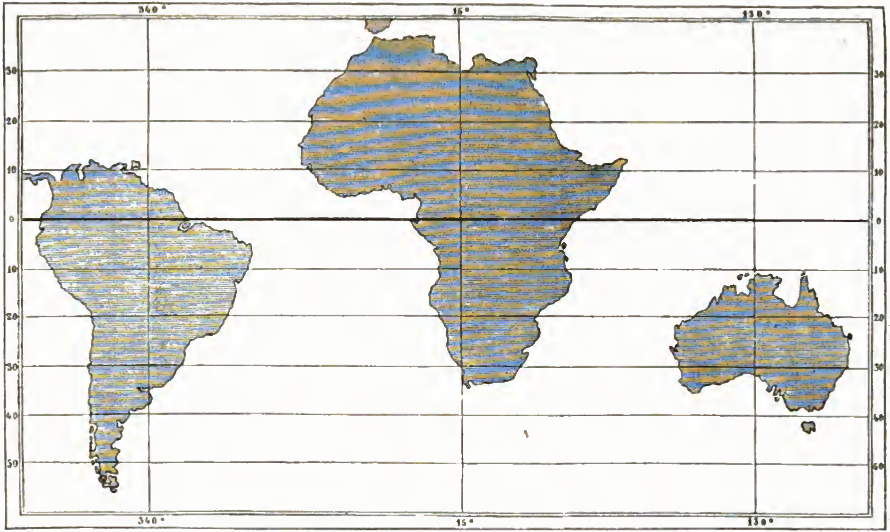
[3]) J. R. Forster, Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt. Berlin 1783. S. 3.

und jüngeren Forster mit Kapitän Cook nach den Südpolarmeeren entdeckt. Gleichwohl bleibt Forsters Vergleich nicht minder treffend; denn Tasmanien darf als die wahre Südspitze von Australien angesehen werden, da die Baſsstraſse sehr seicht und Tasmanien in einer vergleichsweise kurzen geologischen Vergangenheit mit dem nahen Festlande verbunden gewesen ist, was vor allem durch die Ähnlichkeit der Flora und Fauna Tasmaniens mit der Australiens bewiesen wird. In den drei Kontinenten haben wir die gröſste Einförmigkeit der Gestaltung vor uns, als ob sie nach einer Schablone gearbeitet worden wären (Fig. 54). Nach Osten zu endigen sie mit einer Spitze, die, bei Afrika zu einem Horn zugeschärft, in Südamerika bei Kap San Roque schon beträchtlich abgestumpft, in Australien zwar noch kenntlich, aber doch sehr verwischt ist. An ihren Westseiten, und zwar auf der nördlichen Hälfte, wiederholt sich bei allen dreien eine mehr oder weniger gewölbte Massenanschwellung. Bei Südamerika, welches die gröſste Entwicklung von Nord nach Süd besitzt, tritt diese Anschwellung am wenigsten, bei Australien, das die geringste Ausdehnung von Nord nach Süd besitzt, tritt sie vergleichsweise am stärksten in den Ocean hervor, während Afrika zwischen beiden Weltteilen die Mitte hält. Eine Folge des symmetrischen Baues von Südamerika und Afrika ist die eigentümliche Windung des atlantischen Thales; denn schon Immanuel Kant bemerkt treffend, daſs die aus- und einspringenden Winkel der beiden Kontinente einander gegenüber liegen, wodurch der Atlantische Ocean die Gestalt eines groſsen Stromes bekommt, eingeengt zwischen Ufern von gleichmäſsigem Abstand [1]). Leider wird durch die Verzerrung der Ländergestalten auf den Karten in Mercators Projektion dieser Parallelismus fast bis zur Unkenntlichkeit verwischt. Wollte jemand in solchen fast pedantischen Wiederholungen nur Neckereien des Zufalls erblicken, so müſste er überhaupt verzichten, aus Ähnlichkeiten in der Natur zur Erkenntnis eines ursächlichen Zusammenhanges zu gelangen. Bisher hat niemand eine Vermutung geäuſsert, welcher Wirkung von Naturkräften jene seltsamen Ähnlichkeiten beigemessen werden möchten. Auch A. v. Humboldt, der sich vielfach mit diesen morphologischen Geheimnissen beschäftigte, gestand ausdrücklich, er könne nur auf die Ähnlichkeiten hindeuten, ohne die Gründe ihrer Notwendigkeit zu erörtern.

Sollten auch diese Geheimnisse vorläufig noch unenthüllt bleiben, so können wir doch aus jenen Ähnlichkeiten uns eine andere Lehre ziehen, nämlich die, daſs die Umrisse des festen Landes unabhängig

[1]) Immanuel Kant, Physische Geographie. Mainz 1802. Bd. II, S. 62.

Fig. 54.



Die drei südlichen Festlande der Erde.

Projektion der Karte. Die Abstände der drei Teilungsmeridiane sind willkürlich. Die Breitengrade sind gleichabständig, und auf jedem Parallel ist der wahre Abstand der Küsten vom Teilungsmeridian nach dem Maßstab der Parallelabstände aufgetragen; folglich ist nicht nur die starke Verzerrung der Mercatorprojektion vermieden worden, sondern die Länderräume sind genau unter einander proportional, wie es für unsere Aufgabe erforderlich war.

sind von seiner senkrechten Gliederung. Hier geraten wir jedoch in Widerspruch mit hergebrachten Ansichten; denn die älteren Geographen betrachteten die Gebirge als das Maſsgebende bei der Gestaltung des Trockenen, daher sie ehemals das Skelett der Festlande oder wohl auch das Gezimmer oder Balkenwerk der Erde genannt wurden [1]). Es soll nun gar nicht geleugnet werden, daſs die Richtung der Gebirge nicht ohne Einfluſs auf die Umrisse der Länder und Weltteile sei; man müſste sonst Italien und den Apennin, die Vulkanreihe Javas vergessen und verkennen wollen, daſs die Gestalt des nord- und des südamerikanischen Weltteils in Abhängigkeit stehe von ihren Gebirgen; denn bei dem ersteren wird die Westküste durch die Richtung der Felsengebirge, die Ostküste durch das Streichen der Alleghanies gegeben. Noch strenger eingefangen zwischen Gebirgen liegt Südamerika. Erstens ist seine Westküste von der Landenge bis zum Kap Hoorn durch einen einfachen oder doppelten oder dreifachen Andengürtel geschützt, dann eben so der Saum des Caribischen Golfes. Ferner sind die Räume zwischen Orinoco und Amazonas durch Gebirge ausgefüllt, und endlich haben wir in Brasilien Hochlande, deren Ränder dem Meere zugekehrt stehen. So konnte man sich denken und so hat man sich früher gedacht, daſs die Gebirge, nachdem sie aus dem Meere aufgestiegen waren, den Rahmen oder die Wirbelsäulen zur Bildung der Länder gewährten. Hier nötigt aber gerade die vergleichende Erdkunde zu anderen Vorstellungen. Die Gebirge haben nicht auf ihren Schultern die Weltteile mit sich emporgehoben; wohl aber haben sie die älteren Umrisse der Festlande vor einer allzuraschen Umbildung gerettet. Sie wirkten also nicht erzeugend, sondern vielmehr erhaltend.

Die gemeinsamen Familienzüge Südamerikas, Afrikas und Australiens lassen uns nämlich schlieſsen, daſs ihre horizontale Gestalt völlig unabhängig von ihrer senkrechten Gliederung erscheint, die bei jedem der drei Festlande verschieden ist. Den Westküsten Afrikas wie Australiens fehlen die Cordilleren. Der plastische Bau des Innern von Nordafrika hat nicht die geringste Übereinstimmung mit den homologen Räumen Südamerikas. Freilich kennen wir seine senkrechte Gestaltung nur mangelhaft; allein seine Stromsysteme kennen wir hinlänglich, und diese erlauben Rückschlüsse auf die plastische Anordnung des Ganzen. Südafrika ist, soweit wir es kennen, eine Hochebene, die nach beiden Meeren durch aufgerichtete Gebirgsränder begrenzt

[1]) Der Ausdruck Ossatura globi stammt aus Kirchers Mundus subterraneus. Amstel. 1665. Vol. I, lib. II, cap. 9, fol. 69. Hundert Jahre darauf bezeichnete sie Buache als charpente de la terre und später noch Ritter als Gezimmer der Erde.

wird, ganz unähnlich den Tiefebenen Südamerikas südlich vom La Plata. Australien endlich ist am stärksten aufgerichtet längs seiner Ostküste; jedoch fehlen auch in Westaustralien nicht Hochebenen mit steilen Abstürzen; ja, dürften wir einem vorläufigen, freilich immer noch sehr lückenhaften Entwurfe eines Gesamtbildes von Australien Vertrauen schenken, so müfste es einer allseitig an den Rändern aufgerichteten, im Innern aber einsinkenden Hochebene gleichen [1]). Die Ähnlichkeit der drei Kontinente ist also trotz der Verschiedenheiten ihrer senkrechten Gliederung vorhanden, und dies lehrt uns, dafs die grofsen Umrisse der Festlande von anderen Kräften gestaltet wurden, als diejenigen waren, welche das Aufsteigen von Gebirgen hervorriefen. Mit anderen Worten: die Festlande sind älter als die Gebirge, die sie tragen.

Es dient uns zu keiner geringen Beruhigung, dafs A. v. Humboldt zu ähnlichen Ansichten gelangte; denn in Bezug auf den Parallelismus der Westküsten von Südamerika und von Afrika äufsert er in seinem Werke über Centralasien [2]) folgendes: „Es giebt Analogien der Form und Lagerung, welche hervorzuheben von Nutzen zu sein scheint, wenn man auch ihre Ursache nicht erörtert. Solche Verhältnisse hängen, wie die vor- und einspringenden Winkel der Küsten des Atlantischen Oceans im Norden des 10. Grades s. Br. oder wie die korrespondierenden Krümmungen des Golfs von Arica (in Peru) und des Golfs von Guinea, mit dem Phänomen des ersten Erscheinens der kontinentalen Massen zusammen, was weit früher eintrat als die Phänomene der Emporhebung der Gebirgsketten aus Spalten mit verschiedenen Richtungen." Hier ist also unser Satz, den wir beweisen wollten, schon ausgesprochen: die Festlande oder vielmehr der horizontale Umrifs der Weltteile war schon vor dem Auftreten der Gebirge gegeben [3]). Auch hat A. v. Humboldt gezeigt, dafs Kammgebirge, bis zum Meeresspiegel abgetragen und gleichmäfsig über irgend einen Kontinent ausgeebnet, dessen mittlere Höhe nur um weniges erhöhen würden (vgl. S. 450), dafs diese vielmehr nur Rauhigkeiten von untergeordneter Bedeutung

[1]) S. Rattrays Karte von Australien zu p. 381 des Journal of the R. Geogr. Society of London 1868 und Petermanns Karte von Australien in Stielers Handatlas (1874), Nr. 73.

[2]) A. v. Humboldt, Centralasien. Deutsch von Mahlmann. Berlin 1844. Bd. I, S. 139.

[3]) Diese Anschauung hat auch den Beifall C. F. Naumanns (Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 319), der uns zugleich belehrt, dafs schon d'Aubuisson zu ihren Anhängern gehört hat.

seien und dafs sie deshalb jünger sein müfsten als die Festlande selbst [1]).

Sind die Gebirge also nicht die Wirbelsäulen oder das Balkengerüst der Festlande, sondern späteren Ursprungs, so dienen sie doch dazu, um das einmal vorhandene Antlitz der Weltteile gegenüber den zerstörenden Kräften in Luft und Meer zu schützen oder bei dem Eintritt seculärer Bodensenkung die Grundzüge des ehemaligen Zustandes noch längere Zeit zu bewahren. So hat Dana die scharfsinnige Ansicht ausgesprochen, dafs die Koralleninseln der Südsee, deren Hinabtauchen in den Ocean uns bereits in einem der vorhergehenden Abschnitte (S. 389 ff.) beschäftigte, durch ihre kettenartige Anordnung und ihr paralleles Streichen lebhaft an Cordilleren erinnern, die ehemals einen geräumigen Weltteil durchzogen, bei dessen Versinken sie eine Zeit lang noch über Wasser ragten und, als auch sie das Schicksal traf, gänzlich überflutet zu werden, den riffbauenden Korallen noch die Unterlage gewährten, um die heutigen Ketten der Koralleninseln in der Südsee zu erbauen. So erscheint uns auch Neu-Caledonien, von dem wir wissen, dafs es langsam abwärts schwebt, als der schmale Rücken eines Gebirges, welches als Uferleiste die Umrisse eines ehemals nach Osten weiter vortretenden Australiens wahrnehmen läfst. Denken wir uns Neu-Caledonien nach und nach gänzlich unter den Spiegel des Meeres gesunken, so werden auf seinem Rücken Korallenbauten aufsteigen, und eine Kette von Atollen wird noch lange Zeit die Streichungsrichtung und Ausdehnung der ehemaligen Insel bezeichnen.

In Mittelamerika schützte der beinahe lückenlose Zusammenhang der Cordilleren, welcher den längst beabsichtigten Kanalbauten zwischen den beiden Oceanen schwere, fast unbesiegbare Hindernisse bereitete, die gänzliche Trennung des südlichen und nördlichen Festlandes zu zwei Weltinseln. So erzählen uns nicht blofs die senkrechten Lagerungsverhältnisse der Felsarten, welche die Geologen, und nicht blofs die Abdrücke und Versteinerungen von Pflanzen und Tieren, welche die Paläontologen hauptsächlich ins Auge fassen, sondern auch die horizontalen Umrisse des Trockenen und Flüssigen, wo sie mit Hilfe der gewonnenen geologischen und paläontologischen Erkenntnisse von der vergleichenden Erdkunde gedeutet werden können, einiges von der Vergangenheit unseres Planeten und können den Landkarten die Reize eines historischen Gemäldes verleihen.

[1]) A. v. Humboldt, l. c. S. 122 ff.

XI. Die Abhängigkeit des Flächeninhalts der Festlande von der mittleren Tiefe der Weltmeere[1]).

Es ist zu beklagen und zu mifsbilligen, dafs man noch immer gelegentlich von Gebirgsketten und Thälern auf dem Boden der See sprechen hört. Damit soll freilich nicht bestritten werden, dafs in der Nähe von Festlandsküsten, wenn der Boden plötzlich um 500 oder 1000 Faden sinken würde, Gebirge und Thäler überschwemmt werden möchten. Wenn ein ehemaliges Festland rascher unter das Meer hinabschwebt, als manche seiner Thäler ausgefüllt werden können, so müssen sie fortbestehen; ebenso werden seine Gebirge als felsige Inselkämme noch eine Zeit lang oder auch eine lange Zeit über dem Wasser bleiben und die versunkenen Teile das ehemalige Streichen durch Untiefen noch fort und fort verkündigen. Die dalmatinischen Küsteninseln und noch mehr die Inselwelt zwischen Europa und Kleinasien gewähren uns ein deutliches Bild eines derartigen Vorganges. Ebenso darf nicht bezweifelt werden, dafs in solchen seichten Meeren wie in unserer Nordsee durch die aushöhlende Kraft des Wellenschlages Furchen gebildet werden können. Ferner ist es unvermeidlich, dafs die Sohle der Oceane durch Spalten sich zerklüfte; denn viele der vulkanischen Inseln liegen reihenweise geordnet und sind daher aufgeschüttet worden durch vulkanische Auswürfe aus Spalten des Meeresgrundes. Soweit wir die plastische Gestalt der nordatlantischen Sohle kennen, giebt es auch dort Unebenheiten, Hochebenen und Tiefebenen, immer aber mit sanft geböschten Abhängen. Nichts dagegen berechtigt uns zu der Vorstellung, dafs sich der Meeresgrund falte wie die Oberfläche des festen Landes[2]), dafs dort Massengebirge aufgestiegen

[1]) Dieser ebenfalls den „Neuen Problemen" (3. Aufl. S. 75—84) entlehnte Abschnitt ist völlig umgearbeitet und vielfach erweitert worden.

[2]) Vgl. die Abhandlung Sherard Osborns „The Geography of the bed of the Atlantic and Indian Oceans and Mediterranean Sea" in dem Journal of the R. Geogr. Society of London 1871, p. 46—58.

sind oder aufsteigen können, dafs die Weltmeere mit einem Worte ihre Alpen, Pyrenäen, ihren Kaukasus, ihren Himalaya, ihre Anden oder Cordilleren besitzen sollten, es seien denn die Reste ehemaliger Festlandsketten, die durch Korallenbauten noch einem gänzlichen Erlöschen entgingen. Wir beharren also bei der Behauptung, dafs Gebirge nur Erscheinungen der Erdfesten sind und werden diesen Satz später zu erhärten versuchen.

A. v. Humboldt war den gefährlichen Träumereien eines Buache von sogenannten „Seegebirgen" nicht hold gewesen. Finden wir aber bei ihm nicht mehr die Seegebirge, so behielt er doch eine andere Vorstellung des Franzosen bei, dafs nämlich die Gebirge das Gezimmer (charpente) oder, wie es Athanasius Kircher mit einem anderen Bilde ausgesprochen hatte, das Skelett der Festlande (ossatura globi) vertreten. Diese Anschauung öffnete leider den Weg zu einem neuen Irrtume. Man dachte sich, und viele, vielleicht recht viele denken sich noch jetzt, dafs das feste Land den Gebirgen seinen Ursprung verdanke. Zuerst erhob sich zufolge derartiger Anschauungen eine Gebirgskette aus dem Meere und richtete an ihren Abhängen Streifen Landes empor, an das sich frisches und immer frisches Gebiet ansetzte. Folgte der ersten Bergkette eine zweite in paralleler Richtung, so entstand zwischen beiden eine Hochebene. Näherten sich zwei Gebirgsketten unter steilen Winkeln, so gab es Gelegenheit, dafs der Zwischenraum durch Anschwemmung von Land ausgefüllt wurde. Wirklich ist auch mancher Erdraum nur trocken geworden nach dem Aufsteigen naher Gebirge. So wurde die Gangesebene, ein ehemaliger Golf, ausgefüllt mit dem Schutt der Himalayaketten, die Poebene vom Schutt der Alpen. Ein solches Wachstum des Landes erfordert aber stets, dafs die Gebirge noch nicht sehr gealtert sind. Die letzte Hebung der Alpen gehört der jüngsten geologischen Vergangenheit an; die des Himalaya fällt noch in die tertiären Zeiten. Gebirge aber können noch so günstig zur Ansammlung von Land gegliedert sein, ohne dafs deshalb Anschwemmungen sich einstellen. In der Molukkensee liegen die beiden merkwürdigen Inseln Celebes und Gilolo, beide gebirgig, beide fächerförmig ausgebreitet wie eine Hand mit vier Fingern, dem Meere drei Golfe aufschliefsend, wo es Schutt absetzen könnte, ein prächtiges Gezimmer für geräumige Inseln und einen jungen Kontinent. Dennoch besteht Celebes nur aus sekundären Felsarten, an welche sich äufserst spärlich nur hier und da tertiäres Gebiet anlehnt. Folglich dürfen wir in jener Insel nicht das erste Lebenszeichen neuer Landbildung begrüfsen, sondern müssen sie vielmehr als den Rest eines gebirgigen Festlandes und diesen Rest

wieder als im Versinken begriffen betrachten, wie es sich streng ergiebt aus der Verbreitung der dortigen Tierarten.

Wir haben auch schon im vorausgehenden Abschnitt beharrlich darauf verwiesen, dafs die physiognomischen Ähnlichkeiten zwischen den wagerechten Gestaltungen von Südamerika, Afrika und Australien vorhanden sind, ohne dafs sie in der geringsten Abhängigkeit zu ihren senkrechten Gliederungen ständen. Wir zeigten, dafs auch A. v. Humboldt diese Thatsache, die doch wenig zu seinen sonstigen geologischen Vorstellungen pafste, unbedingt anerkannte. In gleichem Sinn äufsert Bernhard Studer[1]): „Mehrere Verhältnisse in der Gestalt der Festländer deuten, wenn auch sehr entfernt, auf einen gemeinsamen Typus hin, der in den Gebirgssystemen bis jetzt nicht hat erkannt werden können und nur durch die Annahme allgemein wirkender Prozesse erklärbar ist."

Weit besser als solche Äufserungen grofser Kenner vermag uns eine Ermittelung der Massenverhältnisse des Meeres, sowie des trockenen Landes und ein Vergleich beider von den älteren Vorstellungen zu befreien.

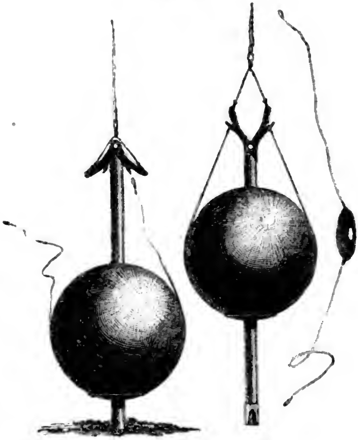
Indem wir uns zunächst der Betrachtung der oceanischen Tiefen zuwenden, schicken wir voraus, dafs alle älteren Arbeiten hierbei ausgeschlossen bleiben, weil sie wenig vertrauenswürdig sind. Die Tiefenmessungen im Ocean sind insofern mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft, als es aufserordentlich schwer ist, den Moment, in welchem das ausgeworfene Lot den Meeresgrund erreicht, auch nur annähernd zu bestimmen, und als man ferner in vielen Fällen nicht beurteilen kann, ob die Schnur die ursprünglich senkrechte Richtung bewahrt. Vielfach liefs man früher die Leine selbst dann noch ablaufen, wenn das Lot längst auf dem Boden des Meeres angekommen war. Erfafst von unterseeischen Strömungen rollte der Faden weiter und weiter ab, und da öfter zwei entgegengesetzte Strömungen in geringerer und gröfserer Tiefe vorhanden waren, so wurde die Schnur nicht selten nach zwei Seiten wie ein Segel aufgeschwellt und mochte unter dem Wasser bisweilen die Gestalt eines *S* annehmen. Der Hauptübelstand hierbei war jedoch der, dafs die Anwendung eines schweren Lotes auch eine stärkere Schnur erforderlich machte, weil der Faden sonst beim Aufwärtsziehen reifsen mufste. War das Lot aber nicht von ansehnlicher Schwere, so spielten die Strömungen des Meeres mit dem Faden und lenkten ihn beträchtlich von seiner vertikalen Richtung ab. So kam es, dafs man den Atlantischen Ocean in manchen Gebieten für

[1]) Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie. Bern, Chur und Leipzig 1847. Bd. II, S. 242.

unergründlich hielt, weil der Faden des Lotes noch immer hinabsank, nachdem er schon auf eine Länge von mehr als 8000 Faden ins Meer hinabgetaucht war. Jetzt weifs man ganz genau, dafs in solchen Fällen das Blei den Boden erreicht hatte, dafs aber der Faden von Strömungen ergriffen und seitwärts fortgeführt wurde.

Um zu zeigen, zu welchen Irrungen man auf diesem Wege gelangen konnte, erwähnen wir, dafs für eine noch von Maury als unergründlich bezeichnete Stelle im Atlantischen Ocean zwischen Neufundland und den Azoren von dem Commander W. Chimmo im Jahre 1868 eine Tiefe von 1450 Faden gemessen wurde. Wenn ferner Sir James Clark Rofs am 3. Juni 1843 zwischen der brasilianischen Küste und St. Helena (unter 15° 3′ s. Br. und 23° 14′ w. L. Gr.) selbst in der enormen Tiefe von 4600 Faden noch keinen Grund fand, so haben wir es unzweifelhaft mit einer fehlerhaften Sondierung zu thun. Dasselbe gilt von Kapitän Denhams Lotungen, der im Jahre 1852 zwischen Tristan da Cunha und der südamerikanischen Küste (unter 36° 49′ s. Br. und 37° 6′ w. L. Gr.) das Gewicht angeblich bis zu der ungeheuren Tiefe von 7706 Faden hinabliefs. Noch überboten wird dieses Resultat durch dasjenige des Lieutenant J. P. Parker, welcher im Jahre 1852 in der Nähe der Denhamschen Messung (unter 35° 35′ s. Br. und 45° 10′ w. L. Gr.) sogar eine Tiefe von 8300 Faden ermittelte [1]).

Fig. 55.



Brookes Tiefseelot.

Nach vielen erfolglosen Bemühungen, ein passendes Tiefenlot herzustellen, gelang es endlich dem Amerikaner J. M. Brooke im Jahre 1854, einen äufserst zweckmäfsigen Apparat zu konstruieren, der zwar später mannigfache Verbesserungen erfuhr, im Princip aber bis heute beibehalten worden ist. Brookes „Deep-Sea Sounding Apparatus" (Fig. 55)

[1]) Nautical Magazine. Vol. XXII, p. 393.

besteht im wesentlichen aus einer durchbohrten Kanonenkugel und einem Metallstab. Der letztere führt von oben nach unten durch das Loch der Kugel hindurch und ragt beträchtlich über die beiden Enden desselben hinaus. Somit trifft die untere Spitze des Stabes eher als die Kugel auf dem Boden auf. Sobald dies geschieht, gleitet die Kugel vermöge ihrer Schwere vollends bis an das Ende des Stabes hinab. Mit dieser Bewegung aber öffnet sich durch Schnüre ein ganz einfaches, scherenartiges Schlofs an der Spitze des Stabes, wodurch die Verbindung zwischen der Kugel und dem Stab gelöst wird. Dieser verliert also die ihn beschwerende Last beim Aufstofsen und kann demnach leicht wieder heraufgehoben werden. Natürlich verbleibt die Kugel auf dem Grunde des Oceans. Die Höhlung am unteren Ende des Stabes ist übrigens mit Talg oder Seife gefüllt; es haften darum auch Stoffe des Seegrundes an dem Instrumente und werden mit diesem in die Höhe gebracht. Späterhin verwandte man statt der Kugel einen 200 bis 300 Pfund schweren Cylinder, welcher in mehrere Teile zerfiel, den sog. „Hydra“-Apparat. Auch vermochte man das Gewicht der Leine, welche aus dem besten italienischen Hanf hergestellt war, um 22 Prozent zu vermindern und dabei ihre Haltbarkeit um 147 Prozent zu steigern. Übrigens bedient man sich verschiedener Lote je nach den Tiefen. Liegt der Meeresgrund nur etwa 1000 Faden tief, so wird das Blei noch heraufgezogen; nur bei gröfseren Tiefen benützt man den „Hydra“-Apparat. Die Schnur, obwohl nicht dicker als ein gewöhnlicher Bleistift, gestattet doch eine Spannung von 12 Centnern. Eine solche mufs gefordert werden, weil die durchnäfste Schnur schwerer wird als Seewasser und ihr eigenes Gewicht demnach mit jedem neuen eingesenkten Faden wächst. Störende Einflüsse bei diesen Messungen werden sofort erkannt, wenn man während der Sondierung die Zeit genau notiert, welche das Lot braucht, um von 100 zu 100 Faden hinab zu steigen. Ein im leeren Raum fallender Körper vervielfältigt seine Geschwindigkeit mit jedem neuen Zeitintervall; Lot und Schnur aber sinken im Wasser immer langsamer, weil mit der Länge des hinabgelassenen Fadens gleichzeitig die Reibung an der Oberfläche desselben wächst. So sank das Lot der „Porcupine“

von	0	bis	100	Faden	Tiefe	in	—	Min.	45	Sek.,
„	500	„	600	„	„	„	1	„	0	„
„	1000	„	1100	„	„	„	1	„	21	„
„	1500	„	1600	„	„	„	1	„	33	„
„	2000	„	2100	„	„	„	1	„	49	„
„	2300	„	2435	„	„	„	2	„	32	„ [1].

[1] C. Wyville Thomson, The Depths of the Sea. 2nd ed. London 1874. p. 223.

Rollt die Schnur, von unterseeischen Strömungen getrieben, auch dann noch weiter ab, nachdem das Lot bereits den Grund des Meeres erreicht hat, so wird dies sofort erkannt werden an der veränderten Geschwindigkeit, die von dem Momente des Aufstofsens an in den meisten Fällen eine wesentlich andere und zwar öfter wohl eine gleichmäfsige oder beschleunigte als eine verzögerte ist.

Die Besorgnis, dafs unterseeische Strömungen die senkrechte Richtung der Schnur stören, sie bogenförmig oder gar schleifenförmig verändern können, ist jetzt nicht mehr grofs. Weit mehr ist eine Trübung der Genauigkeit durch eine Ortsveränderung des Schiffes zu fürchten. In einer halben Stunde kann ein Fahrzeug von Wind und Strömungen ziemlich weit von der Einsenkungsstelle hinweg getragen werden: deshalb sind die Lotungen am Bord der Dampfer viel vertrauenswerter, weil man auf ihnen den befürchteten Nachteilen viel besser vorbeugen kann. Immerhin müssen wir uns sagen, dafs die wirklichen Seetiefen wahrscheinlich etwas kleiner sein werden als die Ergebnisse der Sondierungen [1]).

Von welch zweifelhaftem Werte die älteren Tiefseelotungen sind, erkennt man am deutlichsten aus der folgenden Übersicht über die gröfsten, mit den neueren Apparaten ermittelten Tiefenwerte:

Ocean oder Meeresteil	Ort der Lotung		Gröfste Tiefe in	
	Breite	Länge	Faden	Metern
Nordatlantischer Ocean	19° 39′ n.	66° 26′ w. Gr.	4561	8341
Nordsee	bei Neerstrand (Norw.)		376	687
Ostsee	nw. von Gottland		178	325
Mittelländisches Meer	35° 5′ n.	18° 8′ ö. Gr.	2170	3968
Südatlantischer Ocean	19° 55′ s.	24° 50′ w. Gr.	3284	6006
Nordpacifischer Ocean	44° 55′ n.	152° 26′ ö. Gr.	4655	8513 [2])
Südpacifischer Ocean	11° 51′ s.	78° 45′ w. Gr.	3368	6160
Indischer Ocean	16° 11′ s.	117° 32′ ö. Gr.	3020	5523
Nördliches Eismeer	78° 5′ n.	2° 30′ w. Gr.	2650	4846

Unter allen gröfseren Meeresräumen ist keiner hinsichtlich seiner Tiefenverhältnisse besser erforscht als der Atlantische Ocean und speciell das nordatlantische Becken. Schon wenige Jahre nach der Erfindung des Brookeschen Tiefenlotes konnte der amerikanische Hydrograph Maury es wagen, gestützt auf drei für verschiedene Zonen

[1]) Peschel im Ausland 1870, S. 730.

[2]) Gröfste bisher gemessene Meerestiefe; sie erreicht nicht ganz die Gaurisankarhöhe (8840 Meter).

dieses Meeres gemessene Querschnitte, sowie auf eine gröfsere Anzahl zwischen diesen Linien ermittelter anderer Tiefen, eine erste Tiefenkarte des nordatlantischen Oceans zu entwerfen. Auf Grund dieser Karte, die allerdings infolge der zahlreichen Expeditionen im Laufe des letzten Jahrzehnts bereits durch genauere Bilder verdrängt worden ist, unternahm es Peschel im Jahre 1868 zum ersten Male, die mittlere Tiefe des nordatlantischen Oceans zu berechnen. Hat nun auch das Endresultat dieser Arbeit ebenso wie die Mauryschе Tiefenkarte in neuerer Zeit eine Verschärfung erfahren, so wird das von Peschel angewandte Verfahren jedoch heute noch benützt, weshalb eine kurze Darstellung desselben geboten erscheint. Peschel berechnete zunächst einzeln die mittlere Tiefe jedes Netzvierecks von 5° geographischer Länge und 5° geographischer Breite, teils nach den wirklichen Messungen, teils nach den Schätzungen der Karte, mit Hinweglassung aller durch ein Fragezeichen verdächtigten Messungen, nie gröfsere Seetiefen als 4000 Faden zulassend [1]) und immer bei den Schätzungen auf die nächste niedere Grenzzahl zurückgreifend. Da Maurys Karte nur bis lat. 50° reicht, mufste die Tiefe der Zone zwischen 50° und 55° nur annähernd auf 1500 Faden geschätzt werden. Dort ruht nämlich ein transatlantisches Kabel auf einer mittleren Tiefe von 1511 Faden (nach Petermanns Mitteilungen 1866, S. 433 berechnet). Für die Zone zwischen lat. 55° und 60° fehlte es damals fast gänzlich an Material. Da nach Grönland zu das Atlantische Meer sehr seicht wird, so brachte Peschel hier nur den niedrigen Wert von 500 Faden in Berechnung, einen Wert, der sich später allerdings als viel zu niedrig erwies. Es ist hier jedoch daran zu erinnern, dafs es Peschel darauf ankam, eine Minimalzahl für die Tiefe des nordatlantischen Oceans zu finden. Die mittlere Tiefe desselben ist natürlich nicht das arithmetische Mittel aus den Tiefen der einzelnen Zonen, sondern sie ergiebt sich aus der Summe aller Produkte der Flächen mit den Tiefen der einzelnen Zonen, geteilt durch die Summe sämtlicher Zonenflächen.

Es ist das Verdienst Otto Krümmels, in einer überaus sorgfältigen Arbeit nach der Methode Peschels und unter Benützung des umfangreichsten Materials, nicht blofs für den nordatlantischen Ocean, sondern für alle Oceane die mittlere Tiefe berechnet zu haben [2]). Auf diese wertvolle Arbeit gründen sich im wesentlichen die nachfolgenden Angaben über die Tiefen der Weltmeere.

[1]) Diese Vorsicht fand später glänzende Bestätigung bei Wyville Thomson, l. c. p. 208.

[2]) Otto Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume. Leipzig 1879. S. 71—101.

Für den nordatlantischen Ocean, den wir um der Einfachheit willen im Norden durch den nördlichen Polarkreis, im Süden durch den Äquator begrenzen, gelangten Peschel (1868) und Krümmel (1878), letzterer unter Benützung der Berghausschen Tiefenkarte (datiert 1877) in der neuesten Auflage von Stielers Handatlas, zu folgenden Resultaten:

Breite	Mittlere Zonentiefen in Faden		Differenz	Fläche in Quadratkilometern
	nach Peschel[1])	nach Krümmel		nach Krümmel
60°—55°	500	1 254	+ 754	1 805 788
55°—50°	1 500	2 331	+ 831	1 132 644
50°—45°	1 743	1 586	— 157	2 259 782
45°—40°	2 030	1 887	— 143	2 737 452
40°—35°	2 561	2 279	— 282	3 235 827
35°—30°	2 397	2 216	— 181	3 645 109
30°—25°	2 048	2 132	+ 84	3 610 915
25°—20°	2 221	2 502	+ 281	2 949 610
20°—15°	2 254	2 584	+ 330	2 701 276
15°—10°	2 184	2 509	+ 325	2 764 158
10°— 5°	2 130	2 238	+ 108	2 805 896
5°— 0°	2 317	2 132	— 185	3 072 510
60°— 0°	2 075	2 161	+ 86	32 720 967 [2])

Obwohl sich innerhalb des Decenniums, welches zwischen den beiden Berechnungen liegt, die Tiefenmessungen im nordatlantischen Ocean teils infolge der Kabellegungen, teils infolge rein wissenschaftlicher Untersuchungen aufserordentlich vermehrt haben, weichen doch die Endresultate, trotz der grofsen Differenzen in den Einzelzonen, nicht weit von einander ab. Sie würden sich sicher noch mehr nähern, wenn nicht Peschels Absicht dahin gegangen wäre, einen Minimalwert für die durchschnittliche Tiefe des nordatlantischen Oceans zu ermitteln. Dieses Resultat ist, wie Krümmel mit Recht bemerkt, in methodologischer Beziehung deshalb wichtig, weil wir jetzt selbst bei anderen Oceanen in einer ähnlichen Lage sind wie Peschel vor zehn Jahren beim nordatlantischen.

Aufser den oben bezeichneten Gebieten gehören noch zum nordatlantischen Ocean: die Davisstrafse nördlich von 60° n. Br. bis zur Linie K. Walsingham-Holsteensborg (mittlere Tiefe: 850 Faden, Fläche:

[1]) Ausland 1868, S. 939.

[2]) Krümmel giebt — offenbar infolge eines Additionsfehlers — 32 820 965 Quadratkilometer an.

537500 Quadratkilometer), das Gebiet zwischen den Shetlands-Inseln und Ostgrönland (mittlere Tiefe: 590 Faden, Fläche: 1203100 Quadratkilometer) und einige Räume im Westen von Schottland, Irland und Frankreich (mittlere Tiefe: 222 Faden, Fläche: 282140 Quadratkilometer). Vereinigt man diese Werte mit den in der obigen Tabelle angeführten, so erhält man für den ein Areal von 632800 Quadratmeilen (34743707 Quadratkilometer) umfassenden nordatlantischen Ocean eine mittlere Tiefe von 2086 Faden.

Für den südatlantischen Ocean[1]) standen Krümmel aufser den Lotungen des „Challenger" und der „Gazelle" nur die älteren Lotungen der „Hydra" und einige neuere Nachträge des amerikanischen Schiffes „Essex" zu Gebote. Die gewonnenen Resultate beanspruchen daher nicht einen gleichen Grad von Genauigkeit wie für den nordatlantischen Ocean. Es ergab sich als mittlere Tiefe des südatlantischen Oceans 1965 Faden. Der gesamte Atlantische Ocean aber hat bei einer Flächenausdehnung von 1447820 Quadratmeilen (79721274 Quadratkilometer)[2]) eine mittlere Tiefe von 2013 Faden (= 3681 Meter).

Die mittlere Tiefe der Südsee, wie der Grofse Ocean von den deutschen Seeleuten fast ausschliefslich genannt wird, war für gewisse Strecken längst schon bekannt, bevor wir durch genaue Sondierungen über sie unterrichtet wurden; denn die Wellen des Seebebens vom 23. Dezember 1854, welches Simoda (Japan, südwestlich von Tokio) verheerte, rollten über die Südsee, und ihr Eintreffen wurde bei San Francisco und San Diego an der californischen Küste durch automatische Fluthöhenmesser[3]) aufgezeichnet. Kennt man aber, wie es in diesem Falle möglich war, die Geschwindigkeit der Wellen und ihre Breite oder, mit anderen Worten, den Abstand von einem Wellenkamm zum nächsten, so läfst sich aus einer einfachen Formel des Astronomen Airy die durchschnittliche Tiefe des Oceans auf dem Pfade ermitteln, den die Wellen einschlugen. Die Geschwindigkeit derselben wird bestimmt aus der Zeit, welche sie brauchen, um von

[1]) Als seine Südgrenzen gelten hierbei der südliche Polarkreis, sowie die Meridiane des Nadelkaps (rund 20° ö. L. Gr.) und des Kap Hoorn (67° w. L. Gr.).

[2]) Die hier und in dem folgenden angeführten Areale für die Meeresräume sind das Resultat einer späteren, genaueren Berechnung Krümmels (aus Kettlers Zeitschrift für wissenschaftliche Geographie. Bd. II (1881), S. 73).

[3]) Durch das Steigen oder Sinken des Wassers wird ein Griffel in Bewegung gesetzt, unter dem das Papierblatt von einem Uhrwerk zeitgerecht fortgerückt wird, so dafs Flut und Ebbe ihre Selbstbiographie aufzeichnen können. Die Originalblätter sind durch ein Liniennetz abgeteilt, dessen Längsstriche die Höhe des Wasserstandes, dessen Querstriche die Stunden anzeigen.

irgend welchem Ort nach einem anderen zu gelangen. Man hat hierbei einfach die Gesamtlänge des Weges durch die Anzahl der Stunden zu dividieren, in welchen er von den Flutwellen durchlaufen wurde. So ergab sich, dafs die stündliche Geschwindigkeit der Wellen in der Richtung Simoda—San Francisco 438, in der Richtung Simoda—San Diego (in Neu-Californien, hart an der mexicanischen Grenze) 427 engl. Meilen betrug[1]). Die Breite der Wellen, von Kamm zu Kamm gemessen, läfst sich leicht aus der Dauer der Oscillationen berechnen. Eine solche vollzog sich nämlich in San Francisco in 35 und in San Diego in 31 Minuten; bei einer Geschwindigkeit von 7,3 engl. Meilen in der Minute mufs also die Welle in der Richtung nach San Francisco eine Breite von 255, bei einer Geschwindigkeit von 7,1 engl. Meilen in der Richtung nach San Diego eine Breite von 220 engl. Meilen besessen haben.

Welche Beziehungen zwischen der Geschwindigkeit und Breite der Wellen einerseits und der Tiefe der See andrerseits bestehen, lehrt uns die folgende von Airy entworfene Tabelle:

Tiefe der See in engl. Fufsen	Breite der Welle in engl. Fufsen: 1 000	10 000	100 000	1 000 000	10 000 000
	Stündliche Geschwindigkeit der Welle in engl. Meilen				
1	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
10	12,21	12,22	12,22	12,22	12,22
100	36,40	38,64	38,66	38,66	38,66
1 000	48,77	115,11	122,18	122,27	122,27
10 000	48,77	154,25	364,92	386,40	386,66
100 000	48,77	154,25	487,79	1 151,11	1 222,27

Hieraus geht hervor, dafs mit der wachsenden Breite der Wogen auch die Geschwindigkeit der Wellenbewegung zunimmt, sobald die Woge über ein tiefes Meer hinwegrollt. Ganz rein zeigt sich das Gesetz von der gegenseitigen Abhängigkeit der Geschwindigkeiten und Meerestiefen, wenn die Wogen 10 Millionen engl. Fufs breit sind, wie man dies bei einem Blick auf die letzte Zahlenreihe sofort erkennt. Man sieht nämlich, dafs, wenn sich die Tiefen um das Hundertfache vergröfsern, die Geschwindigkeiten sich nur um das Zehnfache steigern, mit anderen Worten: wenn die Geschwindigkeit doppelt so grofs ist, mufs die Seetiefe im Quadrat gewachsen sein. Wir brauchen also nur die mittlere stündliche Geschwindigkeit einer Welle, ausgedrückt in engl. Meilen, durch 3,866 zu teilen und den Quotienten mit sich

[1]) 1 engl. Meile (Statute oder British Mile) = 5280 engl. Fufs = 1609,3 Meter.

selbst zu multiplizieren, so finden wir die mittlere Seetiefe in englischen Fufsen. Demnach lautet die Airysche Formel: $h = \left(\frac{v}{k}\right)^2$, wobei h die Tiefe des Meeres in engl. Fufsen, v die stündliche Geschwindigkeit der Welle in englischen Meilen und k die Zahl 3,866 bedeutet. Man gelangt zu demselben Resultat, wenn man für v die Geschwindigkeit der Welle per Sekunde in englischen Fufsen und für k den Wert 5,671 in Rechnung bringt. Wir erhalten demnach aus den obigen Werten als mittlere Tiefe der Südsee zwischen Japan und San Francisco 12836,9 e. Fufs oder 2139,5 Faden, zwischen Japan und San Diego aber 12199,2 e. Fufs oder 2033,2 Faden.

Noch einen viel gröfseren Reichtum solcher abgeleiteten Tiefen haben die Wellen geliefert, die sich bei den Erdstöfsen von Arica (Peru) am 13. August 1868 4 Uhr 45 Min. Nachm. (örtliche Zeit von Arica) teils von Südamerika nach Norden bis zu den Sandwichinseln, teils über die Südsee nach den Chatham-Inseln vor Neuseeland, nach Neuseeland selbst (Lyttelton) und nach Australien (Newcastle) verbreiteten, auch an einigen Inseln der Südsee, wie bei Apia auf Upolu (Samoa-Inseln) und dem einsam liegenden Rapa oder Oparo (27° 40′ s. Br., 144° 20′ w. L. Gr.) beobachtet worden sind und, obgleich sie teils durch Inselzonen hindurchgingen, teils sie streifen mufsten, doch bis zu den Chatham-Inseln höchst beträchtliche Tiefen ergaben. Die mittlere Geschwindigkeit der Flutwelle ist nach Peschel gleich 380 engl. Meilen in der Stunde, und da sich die Kämme mindestens in Viertelstunden folgten, so war jede Woge 95 engl. Meilen oder über 500000 engl. Fufs breit. Die Wogen waren also breit genug, dafs sich ihre Geschwindigkeit mit den wachsenden Tiefen steigern konnte, ohne dafs sie die untere Grenze berührten. Die folgende Tabelle enthält alle diejenigen Werte, welche bei Berechnung der mittleren Tiefen auf den in der ersten Kolumne bezeichneten Strecken in Betracht kamen [1]).

[1]) Peschel im Ausland 1869, S. 77 ff. Wenn F. v. Hochstetters Berechnungen zu etwas anderen Resultaten führten (vgl. Petermanns Mitteilungen 1869, S. 222—226), so hat dies hauptsächlich darin seinen Grund, dafs Peschel den Abgang der Welle um 4 Uhr 45 Min., v. Hochstetter aber um 5 Uhr 15 Minuten ansetzt. Nach v. Hochstetter beträgt die Tiefe der Südsee von Arica

nach den Chatham-Inseln	1912	Faden
„ Lyttelton	1473	„
„ Rapa	1933	„
„ Newcastle	1501	„
„ Apia	1891	„
„ {Honolulu	2882	„
„ {Sandwichinseln	2565	„

Weg der Welle von Arica nach	Entfernung von Arica aus in engl. Meilen	Zeit, in welcher die Wellen den Weg zurücklegten	Geschwindigkeit der Welle in engl. Meilen per Stunde	Mittlere Seetiefen in engl. Fufsen	in Faden
den Chatham-Inseln	6 017	15 St. 50 Min.	380,02	9 662	1 610
Lyttelton (Neuseeland)	7 054	19 „ 47 „	356,58	8 506	1 418
Newcastle (Ostküste von Australien)	7 788	22 „ 57 „	343,54	7 896	1 316
Honolulu	4 288	9 „ 23 „	457,15	13 971	2 329

In gleicher Weise wie von Simoda und Arica aus verbreitete sich am 9. Mai 1877 bei dem Erdbeben von Iquique (in Peru, 2° südlich von Arica) die Störung der Gleichgewichtsebene des Meeres in Wellenringen über den Grofsen Ocean. Aus der Geschwindigkeit ihrer Bewegung hat E. Geinitz die mittleren Tiefen desselben auf mehreren von den Wellen durchlaufenen Pfaden berechnet[1]) und ist hierbei zu den nachstehenden Ergebnissen gelangt: Die mittlere Tiefe des genannten Oceans beträgt auf dem Wege von Iquique nach

Hilo (auf der Insel Hawaii)	2 310	Faden
Honolulu	2 319	„
Apia (Samoa-Inseln)	1 930	„
Wellington (Neuseeland)	1 430	„
Lyttelton (Neuseeland)	1 400	„
Kamaishi (Japan)	2 182	„
Hakodate (Japan)	1 818	„

Können auch derartige Berechnungen, wie schon die Differenzen ihrer Endresultate zeigen, niemals ganz zuverlässige Resultate liefern, weil es fast immer an genauen Zeitbeobachtungen fehlt und weil ferner in den meisten Fällen zahlreiche Inseln, einem Gitter gleich, die Flutbewegung hemmen, so gewähren sie uns doch immerhin ein wertvolles Mittel, die durch direkte Messungen erhaltenen Tiefenwerte zu kontrolieren und zu ergänzen.

Übrigens sind wir für die Südsee durchaus nicht mehr, auch nicht einmal hauptsächlich auf die obigen Berechnungen angewiesen. Auf Grund der zahlreichen neueren Lotungen, von denen die meisten

[1]) Verhandlungen der K. Leop.-Karol. deutschen Akademie der Naturforscher. Bd. XL (1878), S. 439. Die von Peschel und Geinitz berechneten Werte (Arica-Lyttelton und Iquique-Lyttelton, Arica-Honolulu und Iquique-Honolulu) stimmen besser zu einander als zu denen von F. v. Hochstetter. Die von den ersteren benützten Zeitbestimmungen scheinen demnach korrekter zu sein.

auf der „Tuscarora", dem „Challenger" und der „Gazelle" ausgeführt wurden, konnte es Petermann im Jahre 1877 unternehmen, eine Tiefenkarte der Südsee zu entwerfen [1]), und damit war die Möglichkeit gegeben, auch die mittlere Tiefe dieses Weltmeeres annähernd zu berechnen. Dieser Arbeit unterzog sich zuerst Alex. Supan [2]) und fast gleichzeitig Otto Krümmel [3]). Beide benützten als Grundlage die erwähnte Petermannsche Karte; doch brachte Krümmel vorher erst zwei Korrekturen auf derselben an: er löste die „Tuscaroratiefe", welche nach Petermann den ganzen Norden des Stillen Oceans beherrscht, in mehrere ungleiche Vertiefungen auf und erkannte, gestützt auf die obigen Berechnungen der Erdbebenfluten, dem Raume im Süden des südlichen Wendekreises zwischen 125° w. L. Gr. und Südamerika nur eine durchschnittliche Tiefe von 1 500 Faden zu. Er fand für die Südsee (mit Einschlufs des californischen Randmeeres) eine Gröfse von 2 929 247 Quadratmeilen (= 161 292 897 Quadratkilometer) [4]) und eine mittlere Tiefe von 2126 Faden. Supans Tiefenwert (= 1842 Faden) ist um 284 Faden kleiner.

Für den Indischen Ocean, dessen Wassergrenzen im Anschlufs an die obige Begrenzung des Atlantischen Oceans und der Südsee nach den Meridianen des Nadelkaps (20° ö. L. Gr.) und der Südspitze Tasmaniens (146° ö. L. Gr.), sowie nach dem südlichen Polarkreis verlegt wurden, hat Krümmel einen Flächeninhalt von 1 331 675 Quadratmeilen (= 73 325 872 Quadratkilometer) und eine Durchschnittstiefe von 1829 Faden ermittelt. Demnach hat der Indische Ocean unter den drei grofsen offenen Weltmeeren die geringste Tiefe.

Über die Tiefenverhältnisse des Nördlichen Eismeeres sind wir soweit gut unterrichtet, als die Polarfahrer nach dem Norden vorgedrungen sind. Für diesen Teil, der in der Grönlandsee zwischen 74 und 84° n. Br., 20° w. bis 10° ö. L. Gr. die gröfste durchschnittliche Tiefe (2000 Faden) erreicht, hingegen in dem Beauforts-Meer südlich 71° n. Br., dem Weissen und Karischen Meer nur 30, resp. 40 und 55 Faden tief ist, berechnet Krümmel eine mittlere Tiefe von 542 Faden. Nimmt man für den übrigen, noch völlig unbekannten Teil eine mittlere Tiefe von 1500 Faden an, so erhält man für das ganze Nördliche Eismeer, welches einen Raum von 277 726 Quadratmeilen

[1]) Petermanns Mitteilungen 1877, Tafel VII.

[2]) Petermanns Mitteilungen 1878, S. 213 ff.

[3]) Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume. Leipzig 1879. S. 79 ff.

[4]) Die Südsee wurde hierbei im Süden begrenzt durch die Meridiane des Kap Hoorn (67° w. L. Gr.) und der Südspitze Tasmaniens (146° ö. L. Gr.), sowie durch den südlichen Polarkreis.

oder 15292411 Quadratkilometern einnimmt, eine mittlere Tiefe von 845 Faden.

Für das Südliche Eismeer sind wir lediglich auf Schätzungen angewiesen. Krümmel veranschlagt die mittlere Tiefe auf 1800 Faden und den Flächeninhalt auf 371898 Quadratmeilen (20477800 Quadratkilometer), bezeichnet jedoch diese höchst zweifelhaften Werte mit Fragezeichen.

Nach Krümmel sind folgendes die mittleren Tiefen und die Areale der Oceane, sowie der ihnen zugehörigen Mittel- und Randmeere:

	Tiefe in Faden	Areal in Quadratmeilen	Areal in Quadratkilometern
1. Atlantischer Ocean	2 013	1 447 820	79 721 274
2. Südsee (incl. Californ. Randmeer)	2 126	2 929 247	161 292 897
3. Indischer Ocean	1 829	1 331 675	73 325 872
Offene Oceane	* 2028[1]	5 708 742	314 340 043
4. Südliches Eismeer	1 800?	371 898?	20 477 800?
5. Nördliches Eismeer	845	277 726	15 292 411
6. Ostsee	36	7 545	415 480
7. Mittelländisches Meer	729	52 404	2 885 522
8. Mex. Golf, Bahama-See, Caribisches Meer	1 001	83 290	4 586 174
9. Australasiatisches Mittelmeer	487	149 755	8 245 954
10. Persischer Golf	20	4 301	236 835
11. Rotes Meer	243	8 155	449 010
Mittelmeere	* 740	583 176	32 111 386
12. Nordsee	48	9 945	547 623
13. Kanal, Irische See und Nachbargebiete	47	3 700	203 690
14. Golf von St. Lorenz	160	4 983	274 370
15. Beringsmeer	550	42 190	2 323 127
16. Ochotskisches Meer	690	27 380	1 507 609
17. Japanisches Meer	1 200	18 957	1 043 824
18. Ostchinesisches Meer	66	22 310	1 228 440
Randmeere	* 523	129 465	7 128 683
Sämtliche Weltmeere	* 1 876	6 793 281	374 057 912

[1]) Die mit * bezeichneten Mittelwerte wurden mit Rücksicht auf die neuen Krümmelschen Arealangaben vom Herausgeber neu berechnet.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dafs wir den offenen Oceanen eine Tiefe von ca. 2000 Faden zuschreiben dürfen, also eine beträchtlich geringere Tiefe als diejenige, welche bisher von den meisten Physikern den Weltmeeren zuerkannt worden ist, nämlich 2500 Faden. Nur Wyville Thomsons Vermutung betreffs der mittleren oceanischen Tiefen wird durch jenes Endresultat in überraschender Weise bestätigt; denn wir lesen in seinen „Depths of the Sea" (2nd ed. London 1874. p. 228): „The average depth of the ocean bed does not appear to be much more than 2000 fathoms." Durch die seichteren Randmeere der Oceane wird dieser Mittelwert nur auf 1876 Faden (= 3431 Meter) vermindert.

Das rechte Licht gewinnen die besprochenen Tiefenverhältnisse der Oceane erst dann, wenn wir die mittlere Höhe der Festlande mit ihnen vergleichen. Während man vor A. v. Humboldt nur die Höhen von Gipfeln oder Pässen zu bestimmen gesucht hatte, wagte A. v. Humboldt den ersten Versuch, die mittlere Erhebung des festen Landes über den Meeresspiegel zu berechnen, und zeigte damit, was das letzte Ziel der plastischen Erdkunde sein müsse. Denkt man sich alle Gebirge und Hochlande eines Weltteiles, so weit ihr Rauminhalt reicht, bis zu den Küsten gleichmäfsig ausgestrichen, so fragt es sich, wie hoch dann eine solche allgemeine Ebene sein würde. Für den Vergleich der Weltteile unter einander und mit den allgemeinen Meerestiefen ist eine solche genaue Bestimmung des überseeischen Rauminhalts der Weltteile von gröfster Wichtigkeit.

Laplace hatte in seinem berühmten Werke „Mécanique céleste" die Äufserung hingeworfen, dafs die mittlere Höhe der Festlande 1000 Meter nicht übersteige. A. v. Humboldt erkannte sehr bald, dafs Laplaces Schätzung als Grenzzahl noch viel zu hoch gegriffen gewesen sei, und beabsichtigte nun, den höchsten Grenzwert festzustellen, welchen man der mittleren Höhe der Kontinente zuschreiben dürfe. Folgendes sind die Ergebnisse seiner Rechnung [1]), denen wir eine Umwandlung in Fadenmafs und die Oberflächenausdehnung der Kontinente [2]) hinzufügen:

[1]) Sie wurde zuerst veröffentlicht in dem Bericht über die Verhandlungen der K. Preufsischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin vom Jahre 1842, S. 233—244 und fast gleichzeitig in A. v. Humboldts Werk Centralasien. Deutsch von Mahlmann. Berlin 1844. Bd. I, S. 120—133: im Jahre 1853 erschien sie mit Verbesserungen unter dem Titel: Über die mittlere Höhe der Kontinente" — in den Kleineren Schriften. Stuttgart und Tübingen 1853. Bd. I, S. 398—446.

[2]) Nach Behm-Wagner, Die Bevölkerung der Erde. Bd. VII (1882), S. VII u. VIII.

	Mittlere Höhen		Oberflächen	
	in Metern	in Faden	in geogr. Quadratmeilen	in Quadrat-kilometern
Asien (incl. Neu-Sibirien und Wrangell-Land)	351	192	810 185	44 611 115
Amerika (incl. Grönland)	285	156	761 746	41 943 968
Europa (incl. Island und Nowaja Semlja)	205	112	180 295	9 927 588
Afrika			541 622	29 823 253
Australien und Polynesien			162 593	8 952 855
Spitzbergen, Franz-Joseph-Land und die Südpolar-Gebiete			14 168	780 133
			2 470 609	136 038 912

Weder für Afrika noch für Australien hatte A. v. Humboldt eine Grenzzahl angesetzt, weil zu jener Zeit das Innere beider Festlande beinahe gänzlich unbekannt war. Für die berechneten Kontinente aber erhielt er einen Mittelwert von 308 Metern oder 168 Faden.

So verdienstvoll A. v. Humboldts Arbeit auch seiner Zeit war, so haben doch neuere Arbeiten, bei denen eine schärfere Methode und ein viel ansehnlicheres Höhenmaterial zur Geltung gelangten, dargethan, dafs sie bedeutende Korrektionen erfahren mufs. Die ersten Zweifel an der Richtigkeit der Humboldtschen Ziffern, soweit sie sich auf die Volumenberechnung der Gebirge beziehen, äufserte K. v. Sonklar in seinem Werke über die Ötzthaler Gruppe[1]; noch deutlicher trat dies später bei seinen orometrischen Untersuchungen hervor[2]. Der Herausgeber dieses Werkes hat es selbst unternommen, mit Hilfe eines reichen Materials und unter Anwendung verschiedener Rechnungsmethoden die mittlere Höhe unseres Kontinentes neu zu berechnen[3]. Für die einzelnen europäischen Länder wurden hierbei folgende mittlere Höhen gefunden, denen wir das Areal und ihre Wirkung beim Aufbau des Kontinentes beifügen:

[1] K. v. Sonklar, Die Ötzthaler Gebirgsgruppe. Gotha 1860. S. 16. 262 ff.

[2] K. v. Sonklar, Allgemeine Orographie. Wien 1873.

[3] Gustav Leipoldt, Über die mittlere Höhe Europas. Plauen i. V. 1874.

Staaten	Mittlere Höhe in Metern	Areal in Quadratmeilen	Effekt auf den Kontinent in Metern
1. Rufsland	167,09	96 450	90,46
2. Iberische Halbinsel	700,60	10 994	43,24
3. Skandinavien	428,10	13 825	33,22
4. Österreich (excl. Bosnien)	517,87	11 308	32,87
5. Oströmische Halbinsel	579,50	8 202	26,68
6. Frankreich	393,84	9 587	21,19
7. Apenninische Halbinsel	517,17	5 382	15,62
8. Deutsches Reich	213,66	9 932	11,91
9. Grofsbritannien	217,70	5 768	7,05
10. Schweiz	1 299,91!	740	5,40
11. Dänemark incl. Island	352,18	2 587	5,11
(excl. Island)	(35,20)		
12. Rumänien	282,28	2 197	3,48
13. Belgien	163,36	535	0,49
14. Holland	48,83	643 (wovon 268 unter dem Niveau des Meeresspiegels)	0,10

Das Endresultat lautet: Europa hat eine mittlere Höhe von 296,838 oder rund 300 Metern. Dieses Resultat aber übersteigt das Humboldtsche (205 Meter) um mehr als 90 Meter. Wenn nun schon Europa, nach Australien unzweifelhaft der niedrigste Erdteil, eine mittlere Massenerhebung von 300 Metern besitzt, so kann diese Zahl nicht als ein Maximal-, sondern höchstens als ein Minimalwert der mittleren Höhe sämtlicher Kontinente betrachtet werden. Gleich Europa sind jedenfalls auch Asien und Amerika um 45 Prozent höher, als die Humboldtsche Rechnung besagt; wir schätzen daher ihre mittlere Höhe auf 500, beziehentlich 410 Meter. Für Asien dürfte die vorgenommene Erhöhung kaum ausreichend sein. Afrika hat nach einer neueren Berechnung von Josef Chavanne[1]) eine mittlere Höhe von 661,8 Metern. Natürlich beansprucht dieses Resultat keinen hohen Grad von Genauigkeit, da das hypsometrische Material für den „dunklen Kontinent“ noch immer ein sehr lückenhaftes ist. Bei dem meist eintönigen, plateauartigen Aufbau Afrikas wird jedoch jener Wert von der Wahrheit kaum sehr abirren; es ist somit Afrika höchst wahrscheinlich derjenige Erdteil, welchem die bedeutendste Massenerhebung zukommt. Für Australien, den niedrigsten Erdteil, nehmen

[1]) „Die mittlere Höhe Afrikas“ in den Mitteilungen der K. K. geographischen Gesellschaft in Wien. Bd. XXIV (1881), S. 340—377.

wir eine mittlere Höhe von 250 Metern an [1]. Demnach würden den Kontinenten nach dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft folgende mittlere Höhen zuzuschreiben sein:

Europa	300 Meter,
Asien	500 „
Afrika	660 „
Amerika	410 „
Australien	250 „

Hieraus aber ergiebt sich eine mittlere Höhe sämtlicher Kontinente von 476 Metern (260 Faden) [2].

Doch wozu diese vielen statistischen Nachweise und Berechnungen? Das Folgende wird unsere obigen Ausführungen rechtfertigen, und es wird sich zeigen, daſs dieselben nicht bloſs eine müſsige Zahlenspielerei sind. Haben die Weltmeere eine mittlere Tiefe von 1876 Faden und die Kontinente eine durchschnittliche Erhebung von 260 Faden, so ist die letztere über 7mal geringer als die erstere. Da nun der Flächeninhalt des nordatlantischen Beckens den vierten Teil (genauer 0,256) der Oberfläche sämtlicher Festlande und seine Tiefe 2086 Faden beträgt, so vermöchte es in seiner Höhlung mehr als das Doppelte (genauer 2,06 : 1) sämtlicher über den Meeresspiegel aufsteigenden Unebenheiten der Erde in sich aufzunehmen. Mit anderen Worten könnten wir auch sagen, daſs sämtliche Unebenheiten der Erdoberfläche, bis zum Meeresspiegel abgetragen und in das nordatlantische Meer gestürzt, dessen mittlere Tiefe von 2086 nur auf 1071 Faden verkürzen würden. Wollte man dann noch die Sockel der Festlande unter dem Meeresspiegel soweit entfernen, daſs sie durch die Einschüttung mit der Sohle des nordatlantischen Meeres eine Ebene darstellten, so würde der übrige hohle Raum noch genügen für einen Ocean, der über die nordatlantische Oberfläche und über die verschwundenen Festlande immerhin noch mit einer Tiefe von 218 Faden oder 399 Metern, also 4½mal tiefer als durchschnittlich die Nordsee, sich ausbreiten würde.

Mit diesen Berechnungen wurde zunächst nur beabsichtigt, eine schon vielfach ausgesprochene Wahrheit frisch und eindrucksvoll zu wiederholen, daſs nämlich unsere Festlande als gewaltige Hochebenen über die Sohle der Oceane emporragen. Vom Boden der oceanischen Becken betrachtet würden die Küstenränder der Erdfesten aufsteigen als Hochebenen von 1876 Faden Höhe, also ansehnlich höher, als sich

[1] Vgl. hierzu Otto Krümmel, l. c. S. 106.

[2] Bei dieser Berechnung wurde den auf S. 447 angeführten, wenig bekannten Polargebieten die Durchschnittshöhe der Kontinente zugeschrieben.

der Kamm der Berner Alpen über das Meeresniveau erhebt. Da der Meeresspiegel infolge der Anziehungskraft der Festländer an deren Rändern etwa 1100 Meter (600 Faden) höher steht als in der Mitte der Oceane (vgl. S. 168 ff.), so halten wir gewöhnlich die Festlandsufer um 1100 Meter niedriger, als sie in Wahrheit sind. Demnach würden die festländischen Gestade, wenn wir sie von dem entblöfsten Meeresgrunde aus beschauen könnten, aufserdem noch um diesen Betrag vor unserem Auge emporrücken [1]).

Wie ganz anders beurteilen wir jetzt die Erdkräfte, welche Inseln mitten aus oceanischen Tiefen auftauchen hiefsen! Wie ganz anders klingen die Worte von der Hebung der Kontinente! Welchen neuen überraschenden Sinn hat der Ausdruck Neue Welt für den transatlantischen Kontinent in unserem Munde gewonnen, seit wir wissen; welches tiefe Thal uns von dem atlantischen Jenseits trennt! Oft genug hat man die See eine grofse Heerstrafse der Menschheit genannt, jetzt erscheint sie wie ein herrlicher Brückenbogen, welcher die Ränder zweier Hochlande, Europas und Amerikas, verbindet, damit über unergründliche Tiefen der Handel sich sicher hin- und herbewege [2]).

Neben den gewaltigen Bauwerken der Kontinente verschwinden, wenn man die Körpermassen vergleicht, alle Unebenheiten der trockenen Oberfläche als geringfügig. Ist auch den Pyrenäen und Alpen nicht jener geringe Effekt bei dem Aufbau unseres Kontinentes zuzuschreiben, wie ihn A. v. Humboldt einst berechnete, nämlich 2, resp. 6,5 Meter [3]), so ist derselbe doch immerhin relativ unbedeutend; denn die Masse der Pyrenäen würde, gleichmäfsig über die Fläche von Europa verteilt, unseren Erdteil nur um 5,1 Meter, die der Alpen in gleicher Weise nur um 27,23 Meter erhöhen [4]). Wenn festländische Hochebenen von Bergketten durchzogen werden, so sagen wir, diese Gebirge seien den Hochebenen aufgesetzt, und niemandem kommt es in den Sinn, den Bau der Hochebenen in Abhängigkeit zu denken von den örtlichen Unebenheiten ihrer Oberfläche. Die Festlande sind aber, wie wir zeigten, gewaltige Hochebenen, vom Sockel des Meeresgrundes aufgebaut, und was wir Gebirge nennen, ist auch diesen Hochebenen nur aufgesetzt. Wenn wir nun sehen, dafs am westlichen Saume von Südamerika die Andenketten überall das Ufer begrenzen — wollen wir uns noch länger vorstellen, dafs sie es sind, die den Bau des Weltteiles bestimmen? Sollten wir uns nicht lieber hüten vor

[1]) Vgl. hierzu Eduard Suefs, Das Antlitz der Erde. Prag und Leipzig 1883. Bd. I, S. 3 und 4.

[2]) Peschel im Ausland 1859, S. 1147.

[3]) A. v. Humboldt, Kleinere Schriften. Bd. I, S. 409.

[4]) G. Leipoldt, l. c. S. 46. 31.

der Behauptung: das westliche Ufer Südamerikas folge seinen Gebirgen? Dürfen wir uns nicht schon jetzt eingestehen, dafs die Anden den Uferlinien des Weltteiles folgen?

Sind unsere Festlande, von der Sohle der Weltmeere betrachtet, Hochebenen, so mufs es in uns den tiefsten Eindruck hinterlassen, ja beinahe wie eine Überraschung wirken, dafs das Feste der Erde unter sich einen Zusammenhang besitzt. Wenn wir das kleine grönländische Festland und die seit Sir James Clark Rofs völlig gemiedenen Länder am Südpol unbeachtet lassen, so besteht alles Trockene nur aus drei Weltinseln, nämlich aus der Alten Welt, Amerika und Australien; ja, das letztere besafs noch bis zur tertiären Zeit eine Verbindung mit Asien, wie umgekehrt Europa damals mit Nordamerika zusammenhing. Die Verbindung des Trockenen zu geschlossenen Massen ist gewifs nichts Unwesentliches und noch weniger etwas Gleichgültiges; denn wir dürfen nur daran denken, dafs sich die Volumina der Kontinente, soweit sie über dem Meeresspiegel liegen (158 483 Kubikmeilen), und der Weltmeere (3 141 020 Kubikmeilen) zu einander verhalten wie 1 : 19,82. Man könnte also die festländischen Massen gegen 20mal in die vom Meere erfüllten Räume hineinschütten. Würden alle Unebenheiten der Festlande bis zum Wasserspiegel abgeführt und in die Weltmeere geworfen, so hätten die letzteren nur einen Verlust von 94,6 Faden (173 Meter) zu erleiden, und durch eine vollständige Ausebnung der Festlandskörper mit der Sohle der Oceane würde die mittlere Tiefe der Weltmeere von 1876 Faden nur auf 1375,7 Faden vermindert werden. Nach diesem Ziele einer völligen Ausglättung der Oberfläche ringt aber der Ocean an allen Strecken, wo es ihm verstattet ist, seine Kräfte zu regen, indem er mit Saturnshunger seine eigenen Kinder, die Festlande, wieder aufzehrt. Das Einbrechen des Oceans als Nordsee und als Ärmelkanal, welches die britischen Inseln von unserem Festlande trennte, ist ein sehr junges Ereignis, und das Zerstörungswerk schreitet noch jetzt alljährlich fort. Ist einmal ein Stück Erdboden vom übrigen Festlande abgelöst, so wächst mit der relativen Zunahme seiner Uferstrecken, wenn alle anderen Bedingungen sich gleich bleiben, der Reibungsverlust an der Küste. Alle Inselwelten oder Archipele, die keinen vulkanischen Ursprung haben und nicht von Korallen aufgebaut sind, liegen nur zwischen der Annäherung zweier Festlande, wie die malayischen Inseln zwischen Asien und Australien, die griechischen Inseln zwischen Europa und Kleinasien, die Inseln des amerikanischen Polarmeeres zwischen dem Norden der Neuen Welt und Grönland, die dänischen Inseln zwischen Deutschland und Skandinavien, die Antillen zwischen Süd- und Nordamerika. Wir haben sie daher als

den Schlufsakt eines geologischen Dramas, als den Anfang des Endes, nämlich der völligen Abtrennung von Kontinentalmassen, zu betrachten. Je mehr die Länder zu einem Ganzen sich zusammenschliefsen, desto besser können sie sich gegen den Ocean verteidigen, desto geringer werden die Reibungsverluste an den Küsten im Verhältnis zum Flächeninhalt des Ganzen werden, desto leichter läfst sich durch Aufschüttungen der Ströme an günstigen Stellen wieder ersetzen, was an anderen verloren ging. Das Raumverhältnis des Trockenen zum Nassen auf der Erde läfst sich in runden Ziffern wie 1 : 2,75 ausdrücken [1]). Im Kleinen findet sich diese Verteilung in der Inselwelt zwischen Asien und Australien wieder. Wollte man sich vorstellen, dafs in irgend einer geologischen Vergangenheit Festes und Trockenes auf der ganzen Erde so verteilt gewesen wären wie im Gebiete der Sunda- und Molukken-Seen, so würde es dann Flut und Ebbe nicht gegeben haben, oder diese Schwankungen des Meeresspiegels müfsten in den überall eingeschlossenen Wasserflächen sehr geringfügig, jedenfalls viel geringfügiger als gegenwärtig gewesen und dadurch eine Bewegung (Kraft) weggefallen sein, die dem Trockenen stets als schädlich sich erwiesen hat. Allein ist nach den Tiefen- und Höhenverhältnissen der Oceane und der Festlande eine solche allgemeine Auflösung in Inselwelten überhaupt denkbar? Niemals würde zwischen solchen Inselgruppen der Ocean bis zu einer mittleren Tiefe von 1876 Faden herabreichen können; denn alle eben aufgezählten Inselwelten, die wir als zerstörte Reste von Festlanden erkannt haben, liegen auf seichtem Meeresgrunde. Wir sehen also, dafs nicht nur der Flächeninhalt des Trockenen in streng arithmetischer Abhängigkeit von der mittleren Meerestiefe steht (er könnte sich nur steigern, wenn die Meerestiefe zunähme), sondern dafs von dieser auch wieder bis zu einem gewissen Grade die Gestaltung des Trockenen beherrscht wird; denn durch unsere Betrachtung gewinnen wir den Satz, dafs zu allen geologischen Zeiten das Trockene der Erde in geschlossenen Landmassen aufgetreten sein müsse. Es ist auch nicht gut denkbar, dafs, seitdem die Kontinente annähernd ihre heutige Gestalt besitzen, das Verhältnis von 1 : 2,75 zwischen Festem

[1]) Legt man die Besselschen Erddimensionen zu Grunde, so erhält man für die gesamte Erdoberfläche eine Gröfse von 9261238 Quadratmeilen. Die planimetrischen Messungen ergaben für die Länderräume 2470609 Quadratmeilen, für die Meeresgebiete 6793281 Quadratmeilen, also für das Gesamtareal der Erde 9263890 Quadratmeilen, d. i. 2652 Quadratmeilen oder das Fünf- bis Sechsfache von Sicilien mehr als die Berechnung von Bessels Erdsphäroid. Da die Unsicherheit in unserer Kenntnis des Erdareals etwa dieser Gröfse entspricht (vgl. S. 176), so erscheinen die angeführten Werte für die Land- und Wasserbedeckung der Erde sehr vertrauenswert. Aus ihnen ergiebt sich ein Flächenverhältnis von Land zu Meer wie 1 : 2,75 oder 4 : 11.

und Nassem stark geschwankt haben könnte; denn erlitte das Trockene jemals eine beträchtliche Verminderung, so würde der Ocean viel leichteres Spiel mit dem Reste haben. Die zerstörenden und die schaffenden Kräfte müssen also wohl im Gleichgewicht stehen, und den Ausdruck dieses Gleichgewichts finden wir in dem Werte von 1 : 2,75.

Auf eine höchst überraschende Thatsache hat uns neuerdings Otto Krümmel in seinem schon mehrfach erwähnten Werke „Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume“ (S. 102 ff.) aufmerksam gemacht. Er untersuchte nämlich das Gewicht der „Erdfesten“, d. i. der Festlandsmassive, gerechnet vom mittleren Niveau des Meeresbodens ab, und das Gewicht sämtlicher Meere. Indem er für die „Erdfesten“ eine Fläche von 2 475 000 Quadratmeilen und eine Höhe von 0,522 659 Meilen annahm[1]), ergab sich für dieselben ein Volumen von 1 293 580 Kubikmeilen und, eine Dichtigkeit derselben von 2,5 vorausgesetzt, ein Gewicht von 1 321 375 Billionen Tonnen. Ferner fand er als Volumen des Weltmeeres, dessen Areal 6 786 000 Quadratmeilen und dessen Tiefe 1880 Faden = 0,463 363 geogr. Meilen beträgt, 3 144 380 Kubikmeilen, welche Wassermenge bei einer mittleren specifischen Schwere von 1,02922 1 322 355 Billionen Tonnen wiegt. Demnach besteht zwischen den Massen des Meeres und der Erdfesten nahezu Gleichgewicht.

Krümmel hütet sich, über die Begründung oder die Zweckmäfsigkeit eines solchen Gleichgewichts der Land- und Meermassen Spekulationen anzustellen, weil dies Sache der Physiker und Astronomen sei; doch scheint er dasselbe nicht blofs als ein zufälliges, sondern als ein notwendiges anzusehen. Diese Anschauung erweckt jedoch bei uns gewisse Bedenken. Die Geologie belehrt uns, dafs im laurentischen Zeitalter wahrscheinlich der ganze Erdkreis von einer Wasserhülle bedeckt war und dafs im huronischen und silurischen Zeitalter die ersten gröfseren Inseln aus dem allgemeinen Weltmeere auftauchten. Da für die letztgenannten beiden Perioden organisches Leben mit Sicherheit nachgewiesen ist, so steht zweifellos fest, dafs das Wasser damals nicht blofs in Dampf- und Gasform die Atmosphäre erfüllte, sondern bereits als tiefe See die Erdoberfläche bedeckte. Jene Weltinseln wurden erst im Laufe der folgenden geologischen Bildungsabschnitte zu weit ausgedehnten Kontinenten; somit herrschte jedenfalls anfänglich kein Gleichgewicht zwischen den Massen des

[1]) Wir geben hier die Zahlen unverändert wieder, wie sie sich im Original vorfinden, da durch Einführung der oben genannten genaueren Werte das Schlufsergebnis nur wenig geändert würde.

Meeres und der Erdfesten. Welche Ursachen sollten nun damals ein solches verhindert haben und jetzt ein solches fordern? Ferner wird das Meeresniveau an den Rändern der Festländer durch die Anziehungskraft derselben gegen 1100 Meter hoch emporgehoben (vgl. S. 168 ff. u. 450). Ließe sich diese Kraft plötzlich beseitigen, so würde die an den Ufern der Kontinente emporgezogene Wassermasse sofort nach der Mitte des Oceans zurückfließen, wodurch die Meerestiefen hier etwas zunehmen, die Kontinente aber an Umfang und besonders an Höhe bedeutend gewinnen würden. Die von der Sohle des Oceans aufsteigenden Erdfesten erschienen dann um nahezu 1100 Meter höher, als oben berechnet wurde, und um so viel höher wären sie eigentlich in die obige Berechnung einzustellen. Auch scheint noch ein anderer Faktor in der Krümmelschen Berechnung zu fehlen. Die Erdfesten werden in derselben so betrachtet, als ob sie an ihren Rändern senkrecht in oceanische Tiefen hinabsinken, während doch die submarinen Abhänge der Erdfesten meist außerordentlich sanft geneigt sind. Werden aber die zum Teil sehr ausgedehnten submarinen Räume der Erdfesten mit in Rechnung gebracht, dann ist jenes Gleichgewicht nicht unwesentlich gestört. Die Krümmelsche Idee von einem Gleichgewicht der Meeres- und Festlandsmassen bleibt uns daher, so anziehend und geistreich sie auch ist, so lange eine Hypothese, als die obigen Bedenken nicht beseitigt werden können.

Ganz verschieden sind die geologischen Schicksale des trockenen Erdbodens und der oceanischen Sohle; denn jener ist völlig entblößt, diese mit einer schützenden Decke versehen. Das trockene Land empfindet zunächst die Temperaturschwankungen des Luftkreises, die, wenn sie auch nicht tief reichen, immerhin die Oberfläche beständig ausdehnen und zusammenziehen. Namentlich ist in neuerer Zeit die zerstörende Kraft der Besonnung von Livingstone an südafrikanischen Felswänden erkannt worden; Fraas sah concentrische Schalen von Kieselsphären unter der Berührung der Sonnenwärme springen, und eine gleiche Beobachtung wurde im Jahre 1867 von einem deutschen Ingenieur in Brasilien mitgeteilt[1]). Das offene Land ist ferner den Sprengwirkungen gefrierenden Wassers in Spalten ausgesetzt; es wird vom Regen zernagt und abgespült; durch Klüfte findet die Luft, finden die süßen Meteorwasser Zutritt zu tieferen Schichten; sie sättigen sich auf dem Wege mit Säuren, welche Felsenbestandteile auflösen, und bringen dadurch eine chemische Zersetzung hervor, deren großartige Wirkungen wir aus Gustav Bischofs genauen Untersuchungen kennen.

[1]) Livingstone, Zambesi. p. 493. O. Fraas, Aus dem Orient. Stuttgart 1867. S. 38 f. Ausland 1867, S. 1221 f.

Die Sohle des Oceans dagegen ist vor den zerstörenden Kräften des Luftkreises gut geschützt. Ferner lastet auf jedem Quadratcentimeter Meeresboden aufser dem Gewicht der Luft noch der Druck einer durchschnittlich 3431 Meter hohen Wassersäule. Abreibung durch Meereströmungen findet nur in seichten Seen und an den oberen Rändern der oceanischen Beckenwände statt. Sie hört unter dem Golfstrome nach Ehrenbergs Ermittelungen bei 92 Faden Tiefe gänzlich auf[1]). Allerdings können die Meeresströmungen, selbst die von den Winden erzeugten, bis zu der gröfsten oceanischen Tiefe hinab wirken (vgl. den Abschnitt über Meeresströmungen); doch verlieren sie hier fast alle Energie ihrer Bewegung und dürften deshalb, insofern sie überhaupt schwebende Bestandteile noch zu transportieren vermögen, durch ihre ausgleichende Thätigkeit die sanfteren Undulationen des Meeresgrundes eher herbeiführen als beseitigen. Endlich erfolgt auf hoher See, fern vom Lande, ein gleichmäfsiger Niederschlag von erdigen Stoffen; denn der ehemalige Meeresboden erscheint, wo er sanft gehoben wurde, völlig horizontal, wie auch alle Schichtungen und inneren Stockwerke der Felsen parallel oder nur unter sehr spitzen Winkeln verlaufen.

Die bisher in allen Meeren angestellten Sondierungen bestätigen dies in der That. Bei der 14. Sondierungsstelle des ersten atlantischen Telegraphenkabels, also in der Mitte des atlantischen Seebodens, hat man zwar eine ansehnliche örtliche Erhebung gemessen, eine 18,9 geogr. Meilen breite Anhäufung von Geschieben, die teils um 648 Meter nach Neufundland, teils um 916 Meter nach Irland zu sich senkt. Beträgt daher das Gefäll des östlichen Abhanges 1 : 76, so könnte doch ein Eisenbahnzug ohne Schwierigkeiten in gerader Linie diese schiefe Ebene aufwärts fahren.

Sonst aber sind dort die Neigungen bei grofsem Abstand von der Küste sehr gering. Auf der Strecke von der 3. bis zur 23. Sondierung beträgt die mittlere Neigung nur $0^{\circ} 15'$ und auf dem Raume zwischen der 23. und 25. Sondierung gar nur $0^{\circ} 1' 30''$. Der Meeresboden zwischen Europa und Amerika, nördlich und südlich von lat. $50^{\circ} 30'$ erscheint bei einer Ausdehnung von $334\frac{4}{5}$ geogr. Meilen als eine Ebene mit so flachen Wellenerhebungen, dafs diese letzteren im Verhältnis zu ihrer horizontalen Ausdehnung verschwinden. Auf den oben angegebenen Strecken der Telegraphenlinie beträgt die Senkung des Bodens auf die Meile teils 30 Meter, teils 3 Meter, während das Gefäll des Rheins auf die Meile zwischen Schaffhausen und Eglisau

[1]) J. G. Kohl, Geschichte des Golfstroms. S. 215.

40 Meter, von Eglisau bis Basel 7 Meter, von Basel bis Strafsburg 6 Meter beträgt. Die vorkommenden Neigungswinkel des atlantischen Meeresbodens längs der Telegraphenlinie lassen sich also günstig vergleichen mit der Senkung des Rheinspiegels auf der Strecke zwischen Schaffhausen und Strafsburg.

Auch innerhalb des Grofsen und Indischen Oceans zeigen sich überall jene sanften Undulationen des Meeresbodens. Die stärkste Neigung der oceanischen Grundfläche in dem ersteren dürfte sich wohl an der Ostseite der Kurilen finden, wo dieselbe (südostwärts der Insel Urup) innerhalb einer Wegelänge von 30 geogr. Meilen vom Meeresniveau zu 4655 Faden (8513 Meter) Tiefe, d. h. zur gröfsten bisher gemessenen oceanischen Tiefe herabsinkt. Hier fällt der Meeresboden auf 1 Meile um 283,8 Meter, also auf 26,1 Meter um 1 Meter; immerhin ist diese Neigung nur eine solche, welche selbst auf Chausséen häufig vorkommt. — Speciell für den Indischen Ocean berichtet der mit der Legung des indischen Kabels betraute Kapitän Calpin: Hunderte von Meilen (engl.) weit zeige sich keine Veränderung im Dynamometer der Kabelversenkung, und das Kabel habe deshalb bei voller Geschwindigkeit des Great Eastern gelegt werden können [1]).

Nur an wenigen Küstengebieten wurden bisher steilere Böschungen des Meeresgrundes beobachtet, nämlich 4° an der Aufsenseite von Vesteraalen (Norwegen, unter 69° n. Br.) und bei Lille Faerder am Eingang des Christiania-Fjordes, 8° an der Nordseite von Jan Mayen [2]) und südöstlich vom Kap Lindesnäs [3]). Dafs unter gewissen Verhältnissen noch steilere Gehänge selbst in der Tiefsee zustande kommen, hat sich aus den Lotungen des Siemensschen Dampfers „Faraday“ im nordatlantischen Ocean mit Sicherheit ergeben. An der im Osten der Neufundland-Bank gelegenen Flämischen Kappe finden sich Strecken bis zu 29° Neigung, und an den Faradayhügeln (mitten im Atlantischen Ocean unter 49—50° n. Br. und 29° w. L. Gr.) erreicht der Böschungswinkel sogar eine Gröfse von 35° [4]). Da wir es in dem ersten Falle offenbar mit dem mächtigen Gerüste einer Geschiebeanhäufung zu thun haben, wie wir sie an der Vereinigungsstelle von Golfstrom und Labradorströmung ziemlich häufig treffen, und im zweiten Falle wahrscheinlich mit einem neueren Lavaausbruche am

[1]) Ausland 1871, S. 240.

[2]) H. Mohn in dem Ergänzungsheft Nr. 63 zu Petermanns Mitteilungen 1880, S. 8 (vgl. hierzu auch Tafel I).

[3]) O. Krümmel in den Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie. Bd. XI (1883), S. 8.

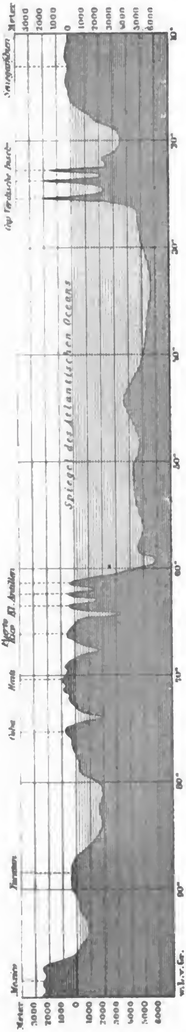
[4]) O. Krümmel, l. c. S. 5—8 und S. 146 f.

Meeresgrunde, so sind jene schroffen Gehänge gewiſs nur als Ausnahmen von der Regel zu betrachten[1]).

Geht man geschichtlich auf den Ursprung jener Irrlehre zurück, welche auf der Sohle der Oceane Gebirge und Thäler entstehen lieſs so gut wie auf dem mit der Luft in Berührung stehenden festen Lande, so ergiebt sich, daſs zuerst um die Mitte des 17. Jahrhunderts der gelehrte Jesuit Athanasius Kircher es war, welcher sich die sichtbaren Gebirge, das „Knochengerüst der Erde", wie er zuerst sie bezeichnet hat, unter dem Wasser teils in der Richtung der Mittagskreise, teils in der Richtung der Breitengrade fortgesetzt dachte. Hundert Jahre später wiederholte der geistreiche Philippe Buache, dem die Erdkunde sonst viele günstige Anregungen verdankt, die nämliche Vorstellung, und er zeigte in phantastischen Erdgemälden, wie sich die Höhenzüge der nächsten Festlande nach den vorliegenden Inseln verlängerten, gleichsam als ob sie die Spitzen einer versunkenen Gebirgskette seien. So führte er den Atlas hinüber nach den Canarien und die amerikanischen Cordilleren über die hawaiische Inselgruppe! Seit dieser Zeit wurden die „Seegebirge" ein unentbehrlicher Hausrat der Erdbeschreiber, und wenn wir diesem Ausdruck auch bei A. v. Humboldt nicht begegnet sind, so war er doch einem Gatterer, einem Torbern Bergmann, dem Philosophen Kant, dem strebsamen A. Zeune und, mit Bedauern sprechen wir es aus, in den frühesten Schriften selbst einem Karl Ritter noch geläufig. Dieser systematische Wahn entsprang zu einer Zeit, wo man von Meerestiefen nichts kannte als diejenigen, welche seichte Ufer umsäumen. Jedenfalls müssen dem Meeresgrunde alle die Unebenheiten fehlen, deren Urheber die verheerenden Kräfte unseres Luftkreises sind, also alles das, was wir unter Erosionen verstehen. Alle geschichteten Gesteine, die in der Tiefe des Meeres abgesetzt wurden, zeigen uns eine horizontale Lagerung; folglich dient eine Versenkung festen Landes unter das Meer früher oder später zu einer Ausfüllung aller Falten und Furchen, die es sich vor seinem Hinabtauchen zugezogen hatte. Statt der Gebirge wird auf der Sohle der Oceane eine Terrassenbildung vorherrschen, obgleich wir uns die Abstürze so steiler unterseeischer Terrassen, wie sie sich hart vor der Küste Irlands und Schottlands in das Atlantische, an der Ostküste der Kurilen in das Pacifische Meer senken, doch immer wieder so sanft denken müssen, daſs ohne Krümmung des Weges ein Fuſsgänger an ihren Böschungen ohne sonderliche Anstrengung der Lungen aufwärts schreiten könnte.

[1]) Der folgende Abschnitt ist im wesentlichen aus den „Neuen Problemen" 3. Aufl.), S. 40 f.

Fig. 56.



Höhen- und Tiefenquerschnitt des atlantischen Thales zwischen lat. 15° und lat. 20° N.

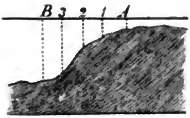
Fig. 57.



Der obige Querschnitt zwischen long. 20° und long. 90° w. Greenw. bei Verhältnissen der Höhen zu den wagerechten Entfernungen wie 10:1.

Nicht wenig haben zur Befestigung jenes Irrtums auch die idealen Tiefenquerschnitte beigetragen, die man zur Versinnlichung der unterseeischen Unebenheiten vorzulegen pflegt und bei denen die Höhenunterschiede nach einem viel gröfseren Mafsstabe als die wagerechten Entfernungen eingetragen werden. Dadurch gewinnt man zunächst nur eine plastische Karikatur, die sich aber der Einbildungskraft tief einprägt und schwer wieder zu vertilgen ist. Ein lehrreiches Beispiel dieser Art gewährt uns ein merkwürdiges Profil, durch die gröfste Breite des atlantischen Thales von Guinea bis nach Mexico gezogen, auf welcher Linie die Amerikaner eine Reihe von Messungen ausgeführt haben (s. Fig. 56 u. 57). Streckt man den Raum zwischen long. 20° und 30° w. Gr., welcher die stärkste Bewegung der Höhen bietet, nach seinen wahren Verhältnissen aus, so besänftigen sich die kapverdischen Inselvulkane, die im Zerrbilde wie die Zähne eines Kammes erscheinen, zu Kegelbergen, welche von vulkanischen Kräften auf einem sanft geneigten unterseeischen Abhang aufgeschüttet worden sind. Die steilste Böschung des atlantischen Bodens auf der älteren Kabellinie zwischen Irland und Neufundland findet sich unter 52° 15′ n. Br. an der Westküste von Irland. Und doch ist auch hier die Neigung eine aufserordentlich sanfte. Von einem jähen Absturz, wie ihn die älteren, in verschiedenen Längen- und Höhenmafsstäben entworfenen Querprofile darstellen, kann nicht die Rede sein. Fig. 58 zeigt die Böschungen im karikierten Verhältnis (eine horizontale Entfernung von 30 Seemeilen hat hier nur wenig mehr Raum als eine Tiefe von 1750 Faden); doch ist die Neigung in Wirklichkeit nur die durch Fig. 59 zur Anschauung gebrachte.

Fig. 58.



Steilste Neigung des atlantischen Bodens auf der älteren Kabellinie zwischen Irland und Neufundland unter 52° 15′ n. Br. an der Westküste von Irland (karikierte Böschungen).

Fig. 59.



Wahre Neigung der in Fig. 58 dargestellten Böschungen des Meeresgrundes.

Könnte unsere Nordsee plötzlich trocken gelegt werden, so würde ihre Sohle einer Steppe mit sanften Hügelwellen von der Gröfse mäfsiger Dünen gleichen; statt der Thäler würden wir dagegen an

etlichen wenigen Stellen trichterförmige Einsenkungen gewahren, nämlich an solchen Stellen, wo die Zuschüttung alter Hohlräume von den Rändern noch nicht völlig bis zur Mitte vorgeschritten war. Was wir bisher von den Tiefen der Oceane in gröfserem Abstand vom Lande kennen, so unvollkommen auch noch die bisherigen Mefswerkzeuge und so gewagt die Darstellung der angehäuften Tiefenmessungen in Querschnitten sein mögen, läfst uns durchaus nichts von „Seegebirgen“ und „Seethälern“ wahrnehmen, sondern fast durchweg nur allmähliche Bodenanschwellungen, wie wir sie in dem europäischen Rufsland vor uns haben, wenn wir die Furchen uns ausgefüllt denken, die durch fliefsende Wasser dort entstanden sind.

XII. Die Modellierung der Küsten. Dünenbildung.

Zwischen Festland und Meer findet fast nirgends eine friedliche Berührung statt. Letzteres arbeitet, teils durch Meeresströmungen, teils durch Flut und Ebbe, teils durch Stürme bewegt, unablässig an der Zerstörung des ihm die Stirne bietenden Landes, um dieses nach längerer oder kürzerer Zeit zu zernagen und zu verschlingen; seltener geht seine Thätigkeit dahin, an der Küste einen flachen Uferstreifen aufzubauen. Besteht ein solcher Kampf zwischen Festland und Meer, so gewinnt derselbe für uns ein dramatisches Interesse und verdient es wohl, in den Kreis unserer Betrachtungen gezogen zu werden.

Früher wurde jene Thätigkeit des Meeres wenig beachtet. Deshalb glaubte Dampier zu der Behauptung berechtigt zu sein [1]), dafs die Wandungen der Oceane und der Seeboden in seinem Verlauf nichts anderes seien als die Fortsetzung des Landprofils. Das Meer sollte demnach überall da eine grofse Tiefe besitzen, wo die Ufer jäh ansteigen; in der Nähe von Flachküsten hingegen sollte es stets seicht sein. Diese Behauptung wird durch die Tiefen der Nord- und Ostsee bestätigt. Die Nordsee ist seicht (nur 10 bis 40 Faden tief) an den flachen englischen und deutschen Küsten, tief hingegen (nämlich 100 bis mehr als 400 Faden tief) vor dem steil abstürzenden Süd- und Westrande Norwegens [2]). Auch den flachen Ufern der Ostsee entspricht im allgemeinen ein seichtes Meer an den Küsten. Und dennoch können wir dieser der reichen Erfahrung eines Seemannlebens entsprungenen Regel keine höhere Bedeutung beimessen als der einer praktischen Schifferregel, bei der es sich um den genügenden Tiefgang für die Schiffe in unmittelbarster Nähe der Küste, aber keinesfalls um

[1]) W. Dampier, Neue Reise um die Welt. Leipzig 1702. S. 768.

[2]) Vgl. hierzu die treffliche Tiefenkarte in Stielers Handatlas Nr. 45.

Meerestiefen in einiger Entfernung von derselben handelt. Sobald man nämlich der Dampierschen Ansicht einen weiteren Spielraum gewährt, wird man sofort ihre Unhaltbarkeit erkennen. So ist die Küste von Nordwestafrika (am Westrande der Sahara) durchaus flach; zahlreiche Sandbänke sind sogar vielfach bis in das Meer vorgeschoben, und doch hat der benachbarte Ocean dort an mehreren Stellen (z. B. bei Kap Bojador und Portendik) schon wenige Meilen von der Küste mehr als 1000 Faden Tiefe. Ähnliche Verhältnisse finden sich an der flachen Ostküste der Vereinigten Staaten, wo kaum 20 geogr. Meilen südöstlich von Kap Hatteras Meerestiefen von mehr als 2000 Faden vorkommen. Hingegen führen die Steilküsten Islands (insbesondere im Nordwesten) ebenso wenig wie die Dalmatiens zu großen Meerestiefen hinab. Ferner bemerken wir am Südende des adriatischen Meeres zwischen den Steilküsten Montenegros und den Flachküsten Apuliens auf beiden Seiten der Adria trotz der ganz verschiedenartigen Küstengestaltung dieselbe Neigung des Meeresgrundes.

Es soll nun in dem folgenden gezeigt werden, daſs die Modellierung der wagerechten Umrisse der Festlande in erster Linie von der Thätigkeit — und zwar mehr von der zerstörenden als von der aufbauenden Thätigkeit — des Meeres abhängig ist. Bei Betrachtung jenes Wellenspiels, welches rastlos an der Zerrüttung der Küste arbeitet, will es uns scheinen, als ob das Meer unablässig bestrebt ist, ebensoviel Terrain wieder zurück zu erobern, als ihm durch die secularen Schwankungen der Küstengebiete entrissen wird.

Ein völlig ruhiges Meer würde keine Küste benagen. Je erregter es ist, um so mächtiger greift es die Küste an. Dies gilt zunächst von derjenigen regelmäſsig sich steigernden und wieder ermattenden Thätigkeit des Wellenschlages, welche wir als Flut und Ebbe oder als Gezeiten bezeichnen. Am verheerendsten wirken sie nicht etwa in der Mitte der Oceane an den Gestaden weit entlegener oceanischer Inseln, sondern an den Ufern der Meere, wo die Wasserbewegung infolge der Seichtheit der See bedeutend gehemmt wird und die Flutwellen somit eine viel ansehnlichere Höhe erreichen. Insbesondere ist der zerstörende Charakter derselben überall da sofort erkennbar, wo zwei von verschiedenen Richtungen kommende Flutwellen sich zu einer einzigen vereinigen. Die Flutwelle, welche von Süd her in die Irische See eindringt, begegnet in der Breite von Bristol, wo die Severn mündet, einer anderen 12 Stunden älteren, welche, nachdem sie Irland umkreist hat, von Nord her dasselbe Meer durchläuft. Diese zwei Wellen schreiten nun, eine einzige groſse Welle bildend, in der Richtung der Resultante weiter und ergieſsen sich in den Golf der Severn. Offenbar verdankt der trichterförmige Bristol-Kanal in erster

Linie diesem gewaltigen Wogendrang seine Entstehung. Ebenso trifft die Flutwelle, welche in den Kanal La Manche eintritt, in der Gegend von Jersey eine 24 Stunden ältere Woge, welche den Weg um ganz England vollendet hat, und diese beiden, sich gegenseitig steigernden Wogen prallen nun mit ihrer enormen Wassermasse an die Felsen der Bretagne, wo zahlreiche, tief einschneidende Busen und von dem Festlande losgesprengte Felstrümmer Zeugnis von ihrer verheerenden Macht ablegen [1]). Erhöht wird in solchem Falle die zerstörende Kraft der Wellen noch insofern, als das dem Lande abgerungene Terrain von einem wenig tiefen Meere bedeckt wird, in seichtem Wasser aber die Flutwelle sich staut und somit wächst.

Die Gezeiten zertrümmern übrigens nicht blofs die Küsten, sondern besitzen auch häufig noch genügende Gewalt, das hinweg gespülte Material weit fortzutragen. So hat man gefunden, dafs der Boden der Irischen See und der benachbarten Meeresteile mit Geschieben bedeckt ist, welche teils der Küste direkt durch die Thätigkeit der Flut entrissen, teils durch englische, schottische und irische Flüsse bis nach der See gebracht und trotz des oscillatorischen Charakters der Flutströmung von dieser nach und nach in die tieferen Meeresteile und weiterhin in den offenen Ocean geschwemmt worden sind. Zum Belege dafür, welche Macht die Gezeiten selbst noch auf dem Grunde des Meeres entfalten, wenn dieses seicht ist, führen wir an, dafs sowohl im Kanal La Manche wie in der Irischen See durch die Flutbewegung Löcher oder Rinnen geschaffen worden sind, deren gröfste Achse hinsichtlich ihrer Richtung mit dem Gang der Flutwelle im allgemeinen übereinstimmt. Die auffallendste dieser Aushöhlungen ist die Nordkanalrinne zwischen Belfast (Irland) und Port Patrick (Schottland); sie ist über 4 geogr. Meilen lang, $^1/_5$ geogr. Meile breit und 60 bis 100 Faden tiefer als der benachbarte Meeresboden. Die hier bestehende starke Strömung hat sie entweder ganz oder doch wenigstens teilweise gebildet und hält sie jetzt offen [2]).

Nicht immer haben die Gezeiten einen destruktiven Charakter; sie können vielmehr bisweilen sogar eine aufbauende Thätigkeit verrichten. Treffen sich nämlich, von verschiedenen Richtungen kommend, an einer Stelle Flut und Ebbe, so erfolgt eine gegenseitige Ausgleichung, eine Neutralisation; man bemerkt weder ein Auf-, noch ein Absteigen des Wassers, obgleich Flut und Ebbe abwechselnd die Küste erreichen. Derartige Stellen giebt es sowohl in der Irischen See wie in der

[1]) Élisée Reclus, La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 140.

[2]) Nach einem Vortrag, gehalten von Mellard Reade in der Geological Society zu Liverpool am 12. Februar 1874. Vgl. Nature. Vol. IX. Nr. 225 (19. February 1874), p. 316.

Nordsee (z. B. zwischen den Küsten Hollands und Englands), und hier ist es eben, wo sich zahlreiche und ausgedehnte Sandbänke ablagern [1]).

Wesentlich anders als der Charakter der Flutwelle ist der der Windwelle. Bei der ersteren findet kein eigentliches Fortschreiten des Wassers statt, sondern nur ein Auf- und Abwärtsschweben der einzelnen Wasserteilchen, während die durch fortgesetzten Winddruck erzeugte Windwelle nach und nach zu einer wirklichen Strömung wird. Ferner hat bei der Flutwelle die ganze Wassermasse bis zur gröfsten Tiefe hinab an der oscillatorischen Bewegung Anteil, während eine Windwelle von mäfsiger Gröfse, falls sie nicht durch lange Zeiträume hindurch von dem Winde in gleichem Sinne dirigiert wird, nur in seichten Meeresgebieten das Wasser bis auf den Grund hinab erregt. Nach den Beobachtungen der Gebrüder Weber [2]) ist die Bewegung, welche eine Welle im Wasser verursacht, noch in einer Tiefe wahrnehmbar, welche der 350fachen Höhe der Welle entspricht, bei einer Wellenhöhe von 4 Metern also noch in 1400 Meter (766 Faden) Tiefe, bei einer solchen von 9 Metern, also bei den gewaltigsten Stürmen, noch in 3150 Meter (1722 Faden) Tiefe. Nun sind auf weiten Meeresräumen selbst die höchsten Wellen niemals über 9 Meter hoch; somit dürften grofse Strecken der Tiefsee von den Windwellen fast vollständig unberührt bleiben.

Windwellen sind klein bei ihrer Entstehung. Anfangs bemerkt man nur ein leichtes Aufkräuseln des Wassers. Wenn der Wind vom Lande her weht und anhaltend in derselben Richtung auf sie einstürmt, so werden die Wellen rasch gröfser; offenes Meer und fortgesetzter Druck „vom Rücken“ sind also ihrer Entwicklung besonders förderlich. Sie schreiten um so schneller vorwärts, je tiefer das Wasser ist; doch legen sie auch bei hohem Wogengang wohl kaum einen Weg von mehr als 6 bis 10 Metern in der Sekunde zurück. In unseren Meeren erreichen die Wellen selten eine Höhe von 3 Metern. Nach Admiral Smyth steigen sie im Mittelmeere bei sehr starken Stürmen bisweilen zu 4 bis $5^1/_2$ Meter nnd nur in ganz aufsergewöhnlichen Fällen zu 9 Meter Höhe empor. Scoresby fand im Atlantischen Meere bei heftigem Sturm eine durchschnittliche Wellenhöhe von ungefähr 9 Metern, vereinzelt sogar von 13 Metern. Bei Kap Hoorn hat man Wellen von 12 Meter Höhe beobachtet. Die gröfsten bis jetzt bekannten bilden sich in der Nähe des Kaplandes unter dem Einflufs

[1]) Plocq in den Annales des Ponts et Chaussées 1863, Tome I, p. 103.

[2]) Ernst Heinrich Weber und Wilhelm Weber, Wellenlehre. Leipzig 1825. S. 126.

eines Nordwestwindes, des Sturmwindes jener Gebiete, welcher die Wogen um das Kap treibt, nachdem sie schräg das weite Gebiet des südatlantischen Oceans durchschnitten haben. Hier schlagen zuweilen die Wellen, vom tiefsten Punkt des Wellenthales bis zum Kamm gemessen, 15, 16, ja 18 Meter hoch empor. Dort allein also darf man von „haushohen" Wellen sprechen, die bei Beschreibung von Seestürmen leider immer unvermeidlich wiederkehren; dort allein kann es sich ereignen, dafs die Passagiere zweier neben einander segelnder Schiffe, wenn diese gleichzeitig in die Wogenthäler hinunterschweben, vom Verdeck aus nichts mehr von dem sie begleitenden Fahrzeuge erblicken. Der Weltumsegler Dumont d'Urville erwähnt sogar 33 Meter hohe, also turmhohe Wogen; indessen erklären die besten Gewährsmänner, dafs sich dies mit den neuerdings gemachten Wahrnehmungen nicht in Einklang bringen lasse.

Kommt eine Welle in seichtere Meeresteile, so erleidet das Wasser eine Reibung an dem Grunde, und die unteren Wasserteile werden in ihrer Bewegung gehemmt, während die oberen fast ungeschwächt in derselben beharren. Infolge dessen brechen die Wellen: ihr Kamm stürzt über, und das Wasser tobt mit verheerender Gewalt gegen das Ufer. Diesen Vorgang bezeichnet man mit dem Worte Brandung. Dieselbe wirkt um so zerstörender, als die gegen das Ufer geschleuderten Wasser unter der anstürmenden nächsten Welle sich zurückziehen und den Strand im Rücklauf aufreifsen. Überdies ist die Höhe der an den Ufern sich brechenden Wellen oft bedeutend gröfser als die der höchsten Wogen auf offener See. Spritzen doch diejenigen, welche sich an der Basis des Leuchtturmes Eddystone (südlich von Plymouth) brechen, bisweilen über seine 46 Meter hohe Spitze empor und steigen dann gleich einem Katarakt wieder von derselben herab! Thomas Stevensons Versuche, welche auf der Felsgruppe Skerryvore (Hebriden) angestellt wurden, haben ergeben, dafs die Wogen in fünf Sommermonaten durchschnittlich einen Druck von 2983, in den sechs Wintermonaten von 10184 Kilogrammen auf einen Quadratmeter der Uferwandungen ausüben; während eines schweren Weststurmes bei 6 Meter hohem Wellenschlage steigerte sich dieser Wert sogar auf 29698 Kilogramm [1]). Wir finden es daher begreiflich, dafs die vom Sturmwind gepeitschte See im stande ist, ungeheure Gesteinsmassen mit fortzuwälzen. So wird uns berichtet, dafs auf Bell Rock, einer blinden Klippe (mit Leuchtturm versehen) südöstlich von Arbroath

[1]) Transactions of the R. Society of Edinburgh. Vol. XVI (1845), p. 25. Nach dem Original beträgt der Druck in den drei angegebenen Fällen 611, 2086 und 6083 lb. auf einen square foot.

(Schottland), wiederholt bei heftigem Sturm grofse submarine Geschiebe aus der Tiefe auf den Fels geschleudert wurden, Geschiebe, deren Rauminhalt nahezu einen Kubikmeter und deren Gewicht mehr als 2000 Kilogramm betrug. Diese grofsen Rollsteine sind den Leuchtturmwärtern auf jener Station so gewöhnlich geworden, dafs sie von denselben „Reisende“ genannt werden. In der Nähe der Insel Barrahead (eine der Hebriden) rollte die mächtig erregte See im Januar 1836 sogar eine gegen 43000 Kilogramm schwere, über 14 Kubikmeter umfassende Gneismasse fast 2 Meter weit hin und her[1]. So laufen also zahllose kleinere und gröfsere Felstrümmer im Bunde mit der daherbrausenden Woge fortwährend Sturm gegen die Küste, und wenn auch die einzelnen Geröllstücke nur wenig zu wirken vermögen: in ihrer Gesamtheit sind sie doch mächtig genug, den Fels zu benagen, auszuhöhlen und endlich hinwegzufegen.

Das Mafs der Zerstörung, welche das Meer herbeiführt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. In erster Linie kommt hierbei die Höhe, sowie die Richtung und Geschwindigkeit der gegen die Küste treibenden Wellen, ferner die Beschaffenheit des Ufergesteins und die Schichtenstellung desselben in Betracht. Granit, Gneis, Syenit, Basalt schützen die Küsten besser gegen den Wogenanprall als Sandstein, Mergel und Kalkstein. Nach längeren Zeiträumen wird freilich auch das härteste Material unterwaschen, wobei dann die vom Wasser nicht berührten oberen Teile ihre Stütze verlieren und ebenfalls eine Beute des Meeres werden. Diesen Vorgang in der Natur ahmen australische Goldwäscher längst schon nach. Man lenkt einen starken Wasserstrahl gegen die Felsen, — natürlich geschieht dies nur dann, wenn dieselben aus weicherem Gestein bestehen, — und in der That werden sie durch den Wasserdruck bald unterhöhlt und stürzen schliefslich, ihrer Basis beraubt, zusammen. Auch die Lagerungsverhältnisse der Schichten am Ufer sind nicht ohne Bedeutung für die Wehrhaftigkeit der Küste. Fallen die Schichten gegen das Meer ein, so bieten sie den Meereswogen um so besser Trotz, je geringer der Neigungswinkel der Schichten gegen die Meeresfläche ist. Wo hingegen die Schichten landeinwärts einfallen und am Uferrande die Schichtenköpfe blofs liegen, da arbeitet das Meer unter gleichen Verhältnissen mit dem gröfsten Erfolge an der Zerrüttung der Küste. Auch wächst die Widerstandsfähigkeit der Ufer mit der Einfachheit ihrer Konturen, d. h. die Ufer sind der Zerstörung um so mehr preisgegeben, je reicher sie an Vorgebirgen und Buchten sind, weil die Zahl der Angriffspunkte in diesem Falle eine gröfsere ist. Ferner sind Küsten, von denen aus der Wind meist ins hohe Meer bläst, weniger der Meeres-

[1]) Nach Stevenson, l. c. p. 28.

erosion zugänglich als solche, welche gleichsam der Wind- und Wetterseite der Festlande angehören und somit dem Anprall der Wogen am meisten ausgesetzt sind. Lehrreich ist in dieser Hinsicht die Geschlossenheit der Ostküsten Englands und Irlands, deren Westküsten doch stark zerrissen sind. An dem letzteren Umstande hat sicher der vorherrschende Südwestwind mit dem hohen Wogengang in seinem Gefolge einen nicht allzu geringen Anteil. Häufige Regen und Nebel, welche das Ufergestein ganz durchfeuchten, bereiten vielfach die Küstenauflösung in wirksamster Weise vor. Ebenso wird die Woge durch die Sprengkraft des gefrierenden Wassers unterstützt, besonders an denjenigen Küsten, an denen während eines längeren Teiles des Jahres mäfsiger Frost mit Tauwetter häufig wechselt.

Steile Felswände, vorspringende Felsecken, vom Festlande bereits losgelöste Nadeln und Zähne, Obelisken und Felsthore, welche nicht selten die phantastischsten Gestalten besitzen: sie alle verdanken ihre Entstehung der erodierenden Kraft der Meereswogen. Wo wir also jäh abstürzenden, vielfach zerrissenen Ufern begegnen, wie an den scheeren- und klippenreichen Westküsten von Irland, Schottland und Norwegen, den hundertfach zerklüfteten Hebriden, Orkney- und Shetland-Inseln, sowie an der zersplitterten Nordwestküste Frankreichs: da haben wir uns eine häufig hochgehende, rastlos mit der Zertrümmerung und Zerstörung der Küste beschäftigte See zu denken. Mit verhältnismäfsig günstigem Erfolge gekrönt war hier ihre Arbeit da, wo harter Fels mit weicherem Gestein vielfach wechselt, indem das letztere von der See weit schneller hinweggespült wurde, wie dies z. B. an den stark zerrütteten Ufern Schottlands und der Bretagne der Fall ist [1]).

Zahlreiche Beispiele liefsen sich anführen von Küstenzerrüttungen, denen Menschen als Zuschauer beiwohnten. Gegen Ende des Jahres 1862 während eines der fürchterlichsten Stürme des Jahrhunderts beobachtete Lennier, wie das Meer die Felsen von la Hève (an der Seine-Mündung) auf einer Breite von 15 Metern abwühlte. Seit dem Jahre 1100 n. Chr. haben die Wogen des Kanal la Manche, unterstützt durch die Meteorkräfte, welche an dem Verfall der oberen Schichten mächtig arbeiteten, diese Falaise um mehr als 1400 Meter tief ausgenagt; der Zerstörungsprozefs schritt also durchschnittlich im Jahre 2 Meter weiter. An der Stelle, wo sich ehemals das vor der Woge sich zurückziehende Dorf Sainte-Adresse befand, breitet sich jetzt die Bank l'Éclat aus [2]). Kap Gris-Nez, derjenige Küstenpunkt

[1]) Vgl. Ferdinand Zirkel in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXIII (1871), S. 53. L. Rütimeyer, Die Bretagne. Basel 1883. S. 24.

[2]) É. Reclus, La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 183.

am Kanal, in welchem sich Frankreich am meisten England nähert, weicht durchschnittlich 25 Meter im Jahrhundert zurück, woraus sich mit einiger Wahrscheinlichkeit der Schlufs ableiten läfst, dafs vor 60000 Jahren — vorausgesetzt, dafs sich in früheren Zeitaltern die Erosion ebenso kräftig erwies, — noch ein Isthmus Frankreich und England mit einander verband [1]). Die klippenreichen Gebiete der Normannischen Inseln und der Scilly-Inseln verraten uns noch den ehemaligen Ufersaum Frankreichs und Englands; sie bilden granitische Palisaden von der aufserordentlichsten Dauerhaftigkeit, stark genug, dem Wogendrang noch Tausende von Jahren zu trotzen. Bei den Scilly-Inseln ist der Zertrümmerungsprozefs am weitesten vorgeschritten; denn es sind ihrer nicht weniger als 140.

Ebenso fehlt es nicht an Beispielen für eine gewaltige Erosionsthätigkeit des Meeres an den englischen Küsten. So werden gewisse Klippen in Norfolk und Suffolk rasch vom Meere abgefressen. Im Jahre 1805 errichtete man bei Sherringham - ein Wirtshaus 50 Yards (46 Meter) von der See und hoffte, dafs es nach den bisherigen Erfahrungen 70 Jahre verschont bleibe, weil bis dahin der jährliche Verlust nicht ganz ein Yard erreicht hatte. Die See aber wollte diesen Kalkül nicht anerkennen. In den Jahren 1824 bis 1829 schwemmte sie nicht weniger als 17 Yards Land hinweg und brachte ihre Wellen bereits bis zum Fufse des Wirtshausgartens, und 1829 hätte schon eine Fregatte in 6 Meter tiefem Meere an derselben Stelle ankern können, wo 48 Jahre früher eine Klippe von 15 Meter Höhe aus dem Meere emporragte [2]). Auf den alten Karten von Yorkshire finden wir die Stellen angegeben, wo ehemals die Ortschaften Auburn, Hartburn und Hyde lagen, jetzt aber Sandbänke im Meere sich ausbreiten. Von Hyde ist nur noch die Tradition vorhanden, und nahe bei dem Dorfe Hornsea (nördlich von Hull) ist eine Strafse, genannt Hornsea Beck, längst hinweg gespült [3]). Auch Owthorne und seine Kirche ist zum grofsen Teil zerstört worden, ebenso das Dorf Kilnsea; aber diese Orte sind weiter landeinwärts wieder aufgebaut worden. Das jährliche Mafs des Vordringens bei Owthorne betrug von 1830 an in den folgenden Jahren durchschnittlich ungefähr 4 Yards (3,7 Meter). Die Lage und die Namen einiger Orte, einst Städte von Bedeutung am Humber, sind jetzt nur noch in geschichtlicher Aufzeichnung uns hinterlassen. Ravensper war früher eine Nebenbuhlerin von Hull und noch im 14. Jahrhundert ein wichtiger Hafen. Edward Baliol

[1]) É. Reclus, l. c. Tome II, p. 185.

[2]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. I, p. 516 sq.

[3]) Pennant, Arctic Zoology. Vol. I, p. 10.

und der mit ihm verbündete englische Adel segelte im Jahre 1332 von hier ab, um in Schottland einzufallen, und Heinrich IV. erwählte sich im Jahre 1399 diesen Hafen als Landungsplatz, um die Thronentsetzung Richards II. herbeizuführen. Doch er ist längst verschlungen von dem herzlosen Ocean; an derselben Stelle sieht man jetzt ausgedehnte Sandanhäufungen, die zur Ebbezeit trocken gelegt werden[1]). Ähnliche Vorgänge hat man vielfach an den Küsten Englands und Schottlands, sowie an den Ufern der drei nördlichen Inselgruppen, der Hebriden, Orkney- und Shetland-Inseln, beobachtet. Namentlich sind die Ufer der letzteren schutzlos dem Anprall der atlantischen Wellen ausgesetzt; denn zwischen der Ostküste Amerikas und der Westküste dieser Inseln tritt kein Landgebiet hemmend ihrer Bewegung entgegen. Infolge dessen verursacht das Vorherrschen heftiger Westwinde zuweilen hohen Seegang, wobei die Wellen mit furchtbarer Gewalt an die Küste schlagen. Das Aufspritzen der See begünstigt die Verwitterung der Felsen; um so rascher werden sie durch die mechanische Kraft der Wellen zerstört. Steile Klippen werden unterwaschen und zeigen nun tiefe Höhlen und mächtige Felsenthore. Beinahe jedes Vorgebirge endet in einer Gruppe von Felsen, welche kühn geformte Säulen, Nadeln und Obelisken darstellen. Trotz der Härte des Gesteins, aus welchem diese Inseln bestehen (meist Granit und Gneis), vermögen sie doch nicht für immer dem Druck des Elementes Stand zu halten. Überall schreitet die Zerrüttung der Küste vorwärts; einzelne Felsen isolieren sich zu selbständigen Inseln, und so löst sich die ehemals zusammen hängende Felsmasse in zahlreiche kleine felsige Eilande auf. Durch Hibberts sorgfältige Untersuchungen sind derartige Vorgänge auf den Shetland-Inseln in reicher Menge nachgewiesen worden[2]).

Auch die Ostseeküsten haben durch den Anprall der Wogen grofse Verluste zu erleiden gehabt. Bei Cranzkuhren (Samland) drang das Meer in dem Zeitraum von 1819 bis 1834 jährlich 2 Meter, in Summa also 30 Meter weit vor. Bei Heringsdorf (Usedom) wurde während der Sturmflut vom 8. Februar 1874 ein ca. 10 Meter breiter Uferstreifen weggerissen, und eine gleich bedeutsame Beute errang die gewaltige Sturmflut vom 12. und 13. November 1872 an der Rostocker Heide. Auf der Insel Rügen rückte die See so drohend gegen den Leuchtturm von Arkona vor, dafs man sich genötigt sah, das Ufer bis zu einer ansehnlichen Höhe mit harten Felsblöcken zu bekleiden,

[1]) Sir Charles Lyell, l. c. Vol. I, p. 515.
[2]) Hibbert, Description of Shetland Isles. Edinburgh 1822. Vgl. Sir Charles Lyell, l. c. Vol. I, p. 507 sq.

welche der See besseren Widerstand leisten. Namentlich ist der Norden und Osten des Landes Mönkgut stark zerstört worden; seit Ende des 17. Jahrhunderts hat die See das Stranddorf Vitte völlig hinweggespült [1]).

Es ist unmittelbar klar, dafs das Meer meist die niedrigen, aus lockerem Gestein gebildeten Küstengebiete, in gebirgigen Gegenden also die Thäler der Gebirgsfalten mit dem relativ besten Erfolge benagt und verheert. Fehlen jedoch solche günstige Angriffspunkte, wie dies namentlich dann der Fall ist, wenn eine hohe, streng geschlossene Gebirgskette die Küste begleitet, so verläuft dieselbe ziemlich geradlinig, weil die Thätigkeit des Meeres hier überall einen nahezu gleich starken Widerstand findet. Die spanischen Küsten illustrieren uns diesen Gegensatz recht deutlich. Die Nordküste mit dem Cantabrischen Gebirge im Hintergrunde beharrt im allgemeinen in derselben Richtung; nur kleine, schmale Busen, Rias genannt, dringen tiefer in das Land ein. Die übrigen Küsten jedoch, namentlich die Süd- und Ostküste, besitzen eine Anzahl weiter, flacher Meerbusen, welche durch halbrunde oder dreieckige, in felsigen Vorgebirgen endende Landvorsprünge von einander geschieden sind. An den Ufern des Golfes von Genua und des Tyrrhenischen Meeres begegnen wir abermals einer Reihe von flacheren oder tieferen, halbmond- oder halbkreisförmigen Buchten, welche rhythmisch wiederkehren und Festons gleichen. An der Westküste Italiens von Piombino (gegenüber Elba) an nach Süden zählen wir ihrer nicht weniger als 15. Schon auf alten Seekarten erscheinen die Westufer Italiens als eine Reihe von Bogen, welche konkav in Beziehung auf das Festland, konvex in Beziehung auf das Meer sind. Der Vorsprung am Ende eines Bogens deutet immer auf ein Hindernis hin, worauf die gegen die Küste gerichtete Strömung traf und welches dieser nicht verstattete, in gleicher Weise wie an den übrigen Ufergebieten ihre erodierende Thätigkeit zur Geltung zu bringen. Die vorstehenden Spitzen sind meist Felsen (Monte Argentario, M. Circello, M. Romano, die Felsenhalbinsel Gaeta, die Felsenküste bei Kap Miseno, der Felsengrat bei Sorrento, die felsige Punta della Licosa) oder Felseninseln (Elba, die vulkanische Insel Procida); nur selten sind jene Vorsprünge durch eine Flufsmündung (Ombrone, Tiber) bezeichnet, in welch letzterem Falle sie auf ganz andere, später zu besprechende Ursachen zurückzuführen sind. Übrigens finden sich ähnliche guirlandenähnliche Uferumrisse auch an der Ostseite Patagoniens und

[1]) Ausführlicheres über die Verheerungen der See an den Ostseeufern nebst Litteraturnachweisen findet sich bei Karl Ackermann, Beiträge zur physischen Geographie der Ostsee. Hamburg 1883. S. 35 f.

anderwärts. Ferner bieten die Westküsten von Irland und Wales zahlreiche schöne Beispiele dafür, wie das härtere Gestein dem Wogenanprall siegreich Widerstand leistete, während die Fluten das weichere Gestein zwischen den felsigen Vorgebirgen zerstörten und, Busen und Golfe schaffend, das verheerte Terrain überfluteten.

Bei unseren bisherigen Betrachtungen wurde vorausgesetzt, daſs das Land, bez. der Meeresspiegel stets in gleichem Niveau verharrt. Von ganz eigenartiger und bedeutsamer Wirkung ist jedoch, wie F. v. Richthofen[1]) in meisterhafter Weise dargelegt hat, die Thätigkeit der Wellen, wenn die von ihnen umwogten Küsten eine lang andauernde seculäre Hebung oder Senkung erleiden.

Weniger wichtig erscheinen hierbei diejenigen Vorgänge, welche die brandende See an den aus losem Schwemmland bestehenden Flachküsten herbeiführt. Hier erfolgen durch die Brandung keine wesentlichen Umgestaltungen; vielmehr begnügt sich dieselbe damit, den Meeressand unablässig umzulagern, der sich dann, während der Ebbezeit vom Seewinde erfaſst, am Strande gar häufig zu stattlichen Dünen auftürmt. Steigt eine solche Küste allmählich über den Meeresspiegel empor, so rückt die Dünenbildung seewärts vor; taucht die Küste hingegen unter denselben hinab, so braust das Meer über die alten Dünen hinweg, um in Gemeinschaft mit dem Winde aus deren Material landeinwärts gar bald neue zu errichten.

Weit bedeutsamer sind die Schöpfungen des brandenden Meeres an einer auf- oder abwärts schwebenden Steilküste. Auch hier entwickelt das Meer seine Angriffe innerhalb einer Zone, welche zwischen dem Niveau der Ebbe und demjenigen der höchsten Flutwellen liegt, und schlägt in dieser Zone so gewaltige Breschen in die Klippenwände, daſs schlieſslich die Uferfelsen, ihrer Grundlage beraubt, zusammenstürzen. Währt dieses Spiel durch längere Zeiträume hindurch, so weicht die Felsenküste immer weiter zurück, und die Wogen rollen über eine gegen das Land hin sich allmählich erhöhende Terrassenfläche, in deren Hintergrunde da, wo die Macht der Brandung schlieſslich erstirbt, das Ufer steil emporstrebt. Gelangt durch eine plötzliche Hebung der Küste die Brandungsterrasse über das Meeresniveau, so gewährt sie genau denselben Anblick wie Norwegens alte Strandlinien, die nach den eingehenden Untersuchungen Richard Lehmanns[2]) zweifellos durch die Brandung in der Zone zwischen Ebbe und Flut

[1]) China. Berlin 1882. Bd. II, S. 766—783.

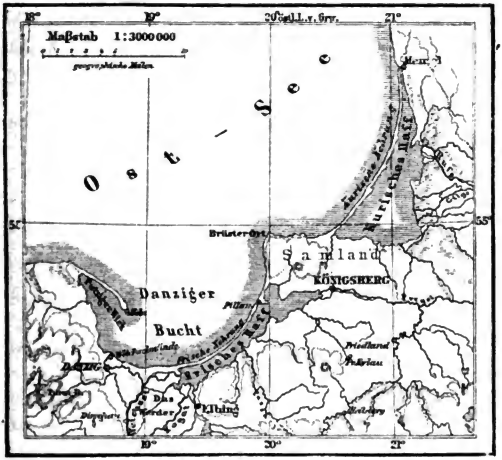
[2]) Zeitschrift für die gesamten Naturwissenschaften. Bd. LIII (1880), S. 247—285; Bd. LIV (1881), S. 463—530.

entstanden sind, wobei die Wogen, wie dies auch gegenwärtig noch der Fall ist, von den scheuernden Geröllstücken und dem in Spalten gefrierenden Wasser wesentlich unterstützt wurden. Die Breite der Terrasse wächst in erster Linie mit der Dauer dieses Prozesses und der Weichheit des Gesteins; doch ist sie auch bedingt durch die Stärke der Brandung, die Gröfse der Flutschwellung, die Richtung der vorherrschenden Winde, die fördernden und hemmenden Einflüsse der Eisbildung und die Art und Menge der sich ansiedelnden Tiere. Jede Ruhepause in dem Aufsteigen einer Küste wird die Entstehung einer derartigen Brandungsterrasse nach sich ziehen. Steigt jedoch eine aus gleichartigem Material erbaute Küste stetig mit derselben Geschwindigkeit empor, so suchen wir an den Küstengehängen vergeblich nach einer solchen Schöpfung des Meeres; denn es wird hier nach und nach der ganze Abhang gleichmäfsig abgehobelt und demnach eine der Böschung parallele Schicht abgetragen.

Ganz anders gestaltet sich die Wirkung der Brandung an einer Küste, welche sich im Zustande seculärer Senkung befindet. Die von der Brandung geschaffene Terrasse wird infolge der Ufersenkung nach und nach völlig in der See begraben. Nun dringen die Wogen gegen neue Felspartien vor, welche früher landeinwärts lagen, unterwaschen dieselben und scheuern, nachdem sie den Einsturz der letzteren herbeigeführt haben, eine neue Brandungsterrasse aus. Hat sich dieses Spiel bei ruckweiser Senkung mehrfach wiederholt, so steigen die hinter einander gereihten Brandungsflächen treppenförmig aus der Tiefe des Meeres nach dem Festland empor. Schwebt die Küste jedoch stetig und gleichmäfsig unter das Meeresniveau hinab, so schreitet die See ununterbrochen landeinwärts vor. Unter den Angriffen der Brandung bricht ein Stück des Felsengesteins nach dem andern zusammen; hierauf wird von ihr das gewonnene Terrain glatt gescheuert, und so tritt, wenn dies durch lange Zeiträume hindurch fortgeht, an Stelle des vorher vielleicht ganz unebenen Küstenlandes eine grofse, vom Meere bedeckte und nach der Tiefsee sanft geneigte Schliff- oder Abrasionsfläche von ganz eintönigem Charakter. Taucht sie später durch eine erneute Hebung aus dem Ocean wieder auf, so bietet sie trotz der Faltungen der unter ihr liegenden Schichten doch denselben Anblick dar wie ein Schichtungsplateau oder Tafelland, indem die verschiedenaltrigen Formationen hier in gleichem Niveau neben einander lagern. Sicherlich hat in dem Niederrheinischen Schiefergebirge, in Skandinavien, auf dem schottischen Hochlande, im nördlichen China und am Westabhang der Sierra Nevada in Californien eine solche gleichmäfsige Abschleifung einstiger Gebirgsfalten stattgefunden. Viele Flüsse haben tiefe Furchen in die genannten Gebiete

gezogen. Die Gestaltung so ebener Flächen über dem ursprünglich reich bewegten Relief war jedoch weder dem fließsenden Wasser, noch dem Eis oder den atmosphärischen Kräften möglich; nur die nach und nach über weite Räume vordringende brandende See war dies zu thun im stande. Meist breitete sich hierbei ein Teil der Zerstörungsprodukte über die abgeschliffenen Schichten aus; doch ist in einzelnen Fällen (z. B. auf dem Niederrheinischen Schiefergebirge und an der Sierra Nevada) das Vorkommen aufgelagerter Schichtgebilde ein äußerst beschränktes.

Fig. 60.



Die Frische und Kurische Nehrung.

Natürlich wird die Abrasionsfläche mehr oder minder unregelmäßsig verlaufen, wenn die Faktoren, welche den Erfolg der Brandung bedingen, mannigfach wechseln; namentlich geschieht dies, wenn das von der Brandungswelle angegriffene Gestein von sehr verschiedener Dauerhaftigkeit ist. Das festere Material wird sich länger behaupten und, falls es sich fortgesetzt siegreich gegen die See wehrt, als Insel zurückbleiben, während das weichere Material rings umher vielleicht längst schon von der wogenden See verschlungen ist.

Außer der zerstörenden Thätigkeit vollzieht das Meer hie und da eine aufbauende oder begünstigt wenigstens Uferbauten, wenn es dieselben nicht selbst herstellt.

Wird irgend ein Meeresteil in der Nähe der Küste durch eine vorliegende Insel oder Halbinsel gegen eine an der Küste vorüberführende Meeresströmung, welcherlei Ursprungs sie auch sei, geschützt, so vermögen die in diesen verhältnismäfsig ruhigen Meeresteil mündenden Flüsse, wenn sie sonst stark genug sind, ihre schwebenden Bestandteile weiter in das Meer hinauszutragen und zwar meist bis dahin, wo die Macht der Meeresströmung ungehemmt zur Geltung gelangt. Hier annullieren sich auf einer bestimmten Linie die beiden einander entgegen arbeitenden Kräfte der Flufs- und Meeresbewegung; hier lagern sich infolge dessen die vom Flusse ins Meer hinaus geschwemmten Schuttmassen ab.

Auf diese Weise bilden sich meistens die so häufig flache Küsten begleitenden langgestreckten, schmalen Landzungen, welche wir gewöhnlich mit dem an der Ostsee für derartige Bildungen gebräuchlichen Namen Nehrungen bezeichnen. Wir schalten hier ein, dafs uns die Frische und Kurische Nehrung allerdings den Typus jener Landzungen aufs deutlichste zeigen (s. Fig. 60); nur möchten wir es in diesem Falle noch unentschieden lassen, ob die obige Erklärung auf sie angewandt werden darf. Wahrscheinlich sind das Frische und Kurische Haff keine Meeresteile, welche durch Nehrungen abgeschnürt worden sind, sondern Einbrüche der See durch den jetzt noch als Nehrung erhaltenen Dünenwall, nachdem hinter diesem auf der Binnenseite das Land zuvor unter den Seespiegel hinabgetaucht war[1]). (Vgl. S. 409.)

In den meisten Fällen gewinnen die Nehrungen allmählich an Breite. Während die Meereswogen feine Sandkörnchen der Aufsenseite zuführen, kommen am Binnenrücken der Nehrung Süfswasserschwemmprodukte zur Ablagerung. Wenn diese Uferwälle hierbei fast stets durch Flufsmündungen unterbrochen bleiben, so ist hier daran zu erinnern, dafs diese Öffnungen nur oberflächlich sind, da sich jene Sandbänke meist unterseeisch fortsetzen.

Oft sind die der Küste vorliegenden Sandwälle ohne jeglichen Zusammenhang mit dem Festlande, d. h. Inseln, oft teils Halbinseln, teils Inseln. Am vollkommensten sind derartige Uferumsäumungen an der Ostküste Nordamerikas zwischen Long Island und Florida, namentlich aber bei Kap Hatteras entwickelt (s. Fig. 61). Auch sie erscheinen als die Ablagerungsstätten der Sedimente, welche von den Flüssen ins Meer transportiert werden und an derjenigen Stelle zu

[1]) Peschel im Ausland 1867, S. 753 und 1869, S. 677. Vgl. auch G. Berendt in den Schriften der Kgl. phys.-ökon. Gesellschaft zu Königsberg. Bd. IX (1868), S. 179 ff.

Boden sinken, wo die Gewalt der Meereswogen die Bewegung des Flufswassers paralysiert. Insbesondere ist hier der bedeutende Einflufs der Gezeiten nicht zu verkennen. Die hier aufserordentlich mächtige Flut dringt in Flüsse und Ströme ein, ergiefst sich sogar über das Land und verhindert den Abflufs der Süfswasser. Diese Stauung hat den Niederschlag der von den Flüssen mitgeführten Sand- und Schlammmassen zur unmittelbaren Folge. Nun tritt die Ebbe ein. Das Flufs-

Fig. 61.



Nehrungen an der Küste von Nord-Carolina.

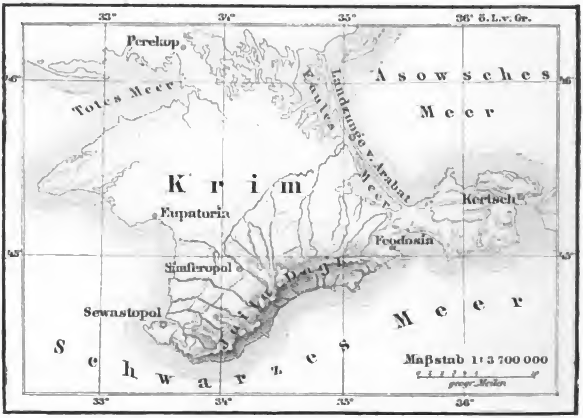
wasser bewegt sich wieder abwärts, wühlt hierbei die kurz vorher geschaffenen Schlammablagerungen auf und trägt sie in das Meer, wo es durch die Wogen abermals zum Stillstand und zu erneutem Absetzen der Sand- und Schlammlast genötigt wird[1]). Die Entfernung dieser Uferbauten von der benachbarten Küste ist nicht an allen Stellen dieselbe. Sie hängt von der Gröfse und Stofskraft der Flüsse, von der Stärke der Gezeiten und sonst ganz lokalen Verhältnissen (wie von dem Vorliegen einer Halbinsel oder Insel) ab. Auch beharren die Uferwälle nicht in ihrer Gestalt und Lage. Einmal füllen die

[1]) H. Credner, Elemente der Geologie. 3. Aufl. Leipzig 1876. S. 231 f.

Flüsse die neugebildeten Lagunen nach und nach mit Schlamm- und Sandmassen aus, wodurch eben die flachen Küstenstriche an der atlantischen Küste entstanden sind; zum andern aber benagen die zur Ebbezeit aus den Flüssen zurückweichenden Wogen die Innenseite der Barre, während das Meer an der Aufsenseite derselben neue Schlammmassen herbeiführt. So wandern diese Uferwälle nach dem Meere zu; in derselben Richtung erweitert sich die Lagune und würde gleichzeitig der Kontinent wachsen, wenn nicht gerade an jenen Küsten durch eine seculäre Senkung dies verhindert würde.

Eine recht charakteristische Form besitzt die Landzunge von Arabat (Krim), welche das Faule und Asowsche Meer von einander scheidet (s. Fig. 62).

Fig. 62.



Die Halbinsel Krim mit der Landzunge von Arabat.

Nehrungen giebt es übrigens in viel reicherer Menge, als man gewöhnlich annimmt. Wir treffen sie, wovon man sich durch Specialkarten leicht überzeugen kann, an den Ufern aller Erdteile und aller gröfseren Meere vom Äquator nach Norden bis zu dem eisigen Island.

Beachten wir die Lage der Nehrungen, ihre Richtung und Gestalt, so erkennen wir folgende Gesetzmäfsigkeit: Niemals kommen diese schmalen, zungenartigen Uferwälle, gleichviel ob sie Inseln oder Halbinseln sind, an Steilküsten oder überhaupt felsigen Küsten, sondern nur an Flachküsten vor. Mindestens liegt, was wir bisher nur an der Südostküste Islands wahrgenommen haben, zwischen den Ufer-

gebirgen und der Küste ein flacher Ufersaum[1]). Ferner treten sie nirgends rechtwinklig an den Gestaden hervor, sondern verlaufen im allgemeinen parallel der Küste. Sie erhalten ja ihre Richtung durch Küstenströmungen und Wogenanprall in ähnlicher Weise wie die Windfahnen durch die herrschende Luftströmung. Endlich ist ihnen allen eine Monotonie ihrer Umrisse eigen; insbesondere ist ihre Aufsenseite fast immer nahezu geradlinig, während der Innenrand öfter leichte Einschnitte zeigt.

Zu den selteneren Erscheinungen gehört die Verknüpfung einer Insel mit dem benachbarten Festlande durch eine oder mehrere Nehrungen. So finden wir namentlich im Gebiet des Mittelmeeres mehrere ehemalige Inseln, welche ihren insularen Charakter verloren haben und zu Halbinseln geworden sind. Eines der bemerkenswertesten

Fig. 63.



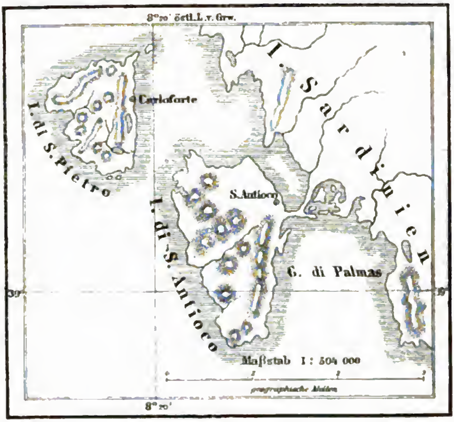
Die Halbinsel Giens (Südfrankreich).

Beispiele dieser Art ist die Halbinsel Giens (Fig. 63). Sie wird wie die anderen Hyèren von einem schmalen Höhenrücken durchzogen, der parallel mit der Küste von Südfrankreich streicht. Sie ist mit dem Kontinente durch zwei Nehrungen von feinem Sand verbunden, welche ungefähr 5 Kilometer lang sind und flache, mit der konkaven Seite gegen das offene Meer gewandte Kurven bilden. Zwischen ihnen breitet sich die weite Lagune von Pesquiers aus. Im Hinblick

[1]) Vgl. das Kärtchen bei É. Reclus, La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 178.

auf diese weite innere Wasserfläche und die niedrigen, kaum über den Meeresspiegel sich erhebenden Strandwälle läſst sich wohl mit Sicherheit die Behauptung aussprechen, daſs der gebirgige Teil der Halbinsel Giens, wie es die übrigen Hyèren heute noch sind, eine Insel war. Die beiden Nehrungen entstanden jedenfalls dadurch, daſs die frühere Insel Giens sich wie ein Bollwerk den vom Meere kommenden Wogen entgegenstellte; so wurden diese, ehe sie auf die geschützte Rückseite der Insel gelangten, dazu gezwungen, ihre Bewegungen zu mäſsigen und eben deswegen den Schlamm und Sand fallen zu lassen,

Fig. 64.



Die Halbinsel S. Antioco.

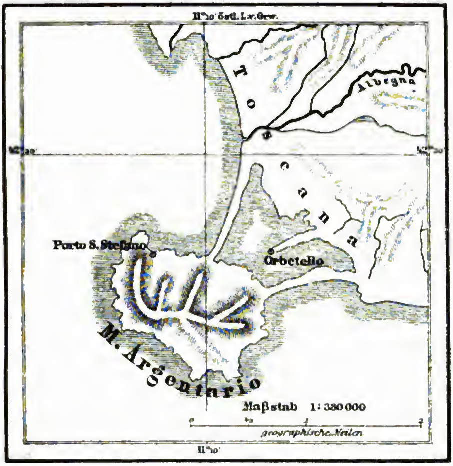
welchen sie schwebend enthielten. Die ansehnlichere Breite und Höhe der östlichen Zunge ist eine Folge davon, daſs eine von Ost nach West laufende Strömung an der Küste hinführt und auſserdem der im entgegengesetzten Sinne wirkende Mistral (ein Nordwestwind) häufig hier weht; der breitere Wall von Sand und Trümmern ist ein Zeugnis des häufigen Ringens dieser beiden Kräfte[1]). In ganz ähnlicher Weise wie Giens sind auch die beiden ehemaligen Inseln S. Antioco (an der Südwestseite von Sardinien, s. Fig. 64) und Monte Argentario (zwischen Elba und Civitavecchia, s. Fig. 65) durch zwei Nehrungen mit dem benachbarten Landgebiete vereinigt. Der einzige Unterschied.

[1]) É. Reclus, l. c. Tome II, p. 215 sq.

welcher uns beim Anblick der beiden Bilder auffällt, besteht darin, dafs im ersteren Falle eine Nehrung durchbrochen ist, während im letzteren beide Nehrungen unverletzt erscheinen. Bei Monte Argentario besitzen sie die Gestalt sanft geschwungener Kurven, deren konkave Seite nach aufsen gerichtet ist; zwischen ihnen liegt wie auch bei S. Antioco eine weite Lagune.

Häufiger noch als die doppelte Verknüpfung der Inseln mit dem Festlande ist die einfache. So waren Kap Sépet bei Toulon, Quiberon in der Bretagne, die Halbinsel Portland an der Südküste von England

Fig. 65.



Die Halbinsel Monte Argentario.

und der Gibraltarfelsen unzweifelhaft ehemals Inseln, während jetzt nach jeder von ihnen eine schmale, niedrige Landzunge hinüberleitet. Manchmal geschieht es auch, dafs zwei Inseln auf diese Weise mit einander verkettet werden. Die lange, schmale Halbinsel Sworbe war nach älteren glaubwürdigen Berichten früher durch einen Meeresarm von Ösel (vor dem Rigaischen Meerbusen) getrennt, und noch im Anfang dieses Jahrhunderts passierten kleinere Fahrzeuge den trennenden Kanal. Gegenwärtig aber besteht hier ein die beiden Inseln verknüpfender niedriger Isthmus, über dessen Sand- und Geröllmassen man bei niederem Wasserstande mit dem Wagen fahren kann. Bei

höherem Wasserstande füllt er sich mehr mit Wasser, bleibt jedoch für die Schiffahrt vollständig unbrauchbar[1]). Die beiden französischen, nahe bei Neufundland gelegenen Inseln Miquelon, welche noch im Jahre 1783 isoliert waren, sind seit 1829 durch einen Wall von Sand verbunden, welchen die Wogen der beiden entgegengesetzten Golfe auf einmal aufwarfen. Ein gleicher Vorgang scheint sich auch auf Guadeloupe (Kleine Antillen) zu vollziehen; denn die beiden selbständigen Glieder dieser Insel (ein hohes vulkanisches Gebiet im Westen und ein niedrigeres Eiland im Osten) sind zur Zeit nur noch durch einen schmalen und seichten Kanal von einander getrennt[2]). Ferner war Tahiti ursprünglich eine solche Doppelinsel.

In manchen Gegenden bleibt das Material der Uferwälle eine so lose Anhäufung, daſs die von der See her wehenden Winde es hinwegführen und weiter landeinwärts die Aufrichtung langgestreckter Sandhügel, Dünen genannt, veranlassen. Sie sind nicht mit Sandbänken und Barren zu verwechseln. Letztere liegen immer unter dem Meeresspiegel und gehören demnach ganz dem Meere an; die Dünen hingegen erheben sich nicht nur über den Meeresspiegel, sondern befinden sich auch mit ihrer Basis auf dem Lande und werden durch einen vor ihnen sich ausbreitenden Strand vom Meere geschieden.

In den tropischen Ländern sind die Dünen verhältnismäſsig selten wegen der raschen Befestigung angehäufter Sandmassen durch Pflanzenwuchs. Namentlich ist es der Mangle- oder Mangrovebaum (Rhizophora Mangle L.), welcher hier an flachen, sumpfigen Küsten einen Uferwald von meilenweiter Ausdehnung bildet und durch die zahlreichen Luftwurzeln, welche aus den noch an den Zweigen hängenden Früchten hervorbrechen, ein so dichtes Wurzelgeflecht erzeugt, daſs dadurch der Sand in seiner Bewegung gehemmt und so die Weiterentwicklung der Dünen verhindert wird. Freilich knüpfen sich an den Namen Manglebaum sehr ungünstige Örtlichkeitsbegriffe. Er beherbergt unter seinem reichen Wurzelwerk eine solche Fülle von Unrat und faulender Meeresgeschöpfe, daſs die Luft der Mangrovewaldungen eine durchaus verpestete ist und den menschlichen Aufenthalt zu einem krankheit- und todbringenden macht. Wo jedoch in der tropischen Zone die Vegetationsdecke fehlt, sind auch Dünen wahrzunehmen, so an der Westküste Afrikas und an der Küste von Peru. An der letzteren bezeichnet man die wandernden Sandhügel mit dem Namen

[1]) Bulletin de la classe physico-mathématique de l'Académie impériale des sciences de St.-Pétersbourg. Tome XIV (1856), Nr. 13, p. 207. 208.

[2]) É. Reclus, l. c. Tome II, p. 218, nach Brué (Bulletin de la Société de Géographie. 1829).

„Medanos“[1]). Ziemlich häufig sind die Dünen in der gemäßigten Zone, und zwar begegnen wir ihnen noch unter höheren Breiten, so an der Südküste Islands. Doch ist es zweifelhaft, ob — wie Franklin behauptet — selbst der Nordrand von Amerika der Dünenbildung nicht entbehrt.

Das Vorkommen der Dünen ist übrigens nicht allein auf die Küstengebiete beschränkt. Auch im Innern der Kontinente, namentlich innerhalb der Passatzone, wo Sandwüsten weite Areale erfüllen und Sandstürme auftreten, sind Dünen keine seltenen Erscheinungen. Die der Turkmenischen Wüste (südlich von Chiwa) hat uns Vambéry, die im Ferghaná-Thale (am oberen Sir-Darja) A. v. Middendorff[2]) ausführlich beschrieben. Zahlreich sind die Berichte über die Dünen der Sahara von Herodot an, welcher uns erzählt, daſs eine von Kambyses nach der Oase des Jupiter Ammon (Siwah) gesandte Expedition durch einen Sandsturm vernichtet worden sei, bis auf die neueste Zeit herab. In der That mögen in einzelnen Teilen der Sahara (so im Suf, der Sandwüste zwischen Tuggurt und Tunesien, und anderwärts) oft ganze Karawanen durch die vom Winde herbeigewehten ungeheuren Sandmassen begraben werden; doch muſs ausdrücklich bemerkt werden, daſs nicht die Masse des anstürmenden Sandes, sondern die fürchterliche Hitze, welche der aus einem Ofenloch entströmenden Glut ähnlich ist, in erster Linie die gänzliche Erschöpfung und den Tod des Wüstenwanderers herbeiführt, namentlich dann, wenn kein Wasser mehr vorhanden ist. Doch werden Menschen und Tiere, wenn sie reichlich mit Wasser und Nahrung versehen sind, immer Kraft genug haben, den Staub und Sand von sich abzuschütteln[3]).

Die Dünen der Wüste gleichen plötzlich starr gewordenen Wellen und Wogen. Sie erheben sich hinter einander und zwar oft bis an die Grenzen des Horizonts und sind durch schmale Thäler von einander geschieden. Bald verdünnen sie sich zu schneidigen Kämmen; bald spitzen sie sich zu Pyramiden zu; bald runden sie sich zu cylindrischen Gewölben. An Dünen von kompaktem Sande hängt sogar stellenweise der Kamm oben über wie bei einer im Überstürzen begriffenen Welle; aber auch in diesem Falle ist die dem Winde zuge-

[1]) J. J. v. Tschudi, Peru. Reiseskizzen aus den Jahren 1838 bis 1842. St. Gallen 1846. Bd. I, S. 335 ff.

[2]) Mémoires de l'Acad. imp. des sciences de St.-Pétersbourg. Tome XXIX (1881), p. 29 sq.

[3]) Vgl. Charles Martins, Von Spitzbergen zur Sahara. Jena 1868. Bd. II, S. 287. Gerh. Rohlfs im Ausland 1872, S. 1059 f. und in seinen Neuen Beiträgen zur Entdeckung und Erforschung Afrikas. Kassel 1881. S. 38 f. R. Hartmann, Skizze der Nilländer. Berlin 1865. S. 155 f.

kehrte Seite eine sanft geneigte, leicht gekräuselte Fläche. In der Sahara erstrecken sie sich meist von Südost nach Nordwest, was offenbar eine Wirkung des vorherrschenden Nordostpassats ist. An manchen Stellen der Wüste ist das Wandern der Dünen ein aufserordentlich langsames; sie bewahren vielmehr längere Zeit ihren Ort und ihre Form und werden daher von den Eingeborenen leicht wieder erkannt. Andere Dünen hingegen rücken verhältnismäfsig schnell von Ost nach West vor. Dies geschieht namentlich dann, wenn die Gegend eben und die Entstehungsursache ein unbedeutender Gegenstand ist. In der Sahara werden die beweglichen Dünen von den Arabern Ghard (Plur. Ghurûd) genannt zum Unterschiede von denen, welche ihren Ort lange Zeit behaupten und 'Erq (Plur. 'Orûq) heifsen [1]).

Übrigens kommen binnenländische Dünen auch in unseren Breiten vor, sobald sich irgendwo ein heifses, trockeneres Klima mit stetigen Luftströmungen vereinigt. So begegnet man in dem heifsen Rhônethale zwischen Saxon und Martigny, wo besonders im Hochsommer und Anfang Herbst während des Nachmittags bei grofser Hitze kräftige Westwinde vorwalten, deutlich entwickelten Dünen, die beständig nach Osten vorwärts schreiten und deren ansehnlichste 7 Meter hoch, 26 Meter breit und 204 Meter lang ist [2]).

Welches ist nun die Ursache der Dünenbildung? Und ist man berechtigt, Stranddünen und binnenländische Dünen einem und demselben Bildungsgesetze unterzuordnen?

Man hat neuerdings mehrfach die Meinung ausgesprochen, dafs die kolossalen Sandanhäufungen der Sahara eine Folge der früheren Meeresbedeckung dieses Raumes seien [3]). Nun ist es schon sehr zweifelhaft, dafs die Sahara in einem jüngeren geologischen Zeitabschnitt in ihrer ganzen Ausdehnung oder auch nur zum gröfsten Teile vom Ocean überflutet war; es ist dies vielmehr nur für einzelne Gebiete erwiesen, seitdem Desor u. a. zahlreiche Überreste von Seetieren (insbesondere Cardium edule) hier gefunden haben, welche zum Teil heute noch im Mittelmeere leben [4]). Grofse Räume der westlichen Sahara bestehen nach den Forschungen Oskar Lenz' aus devoni-

[1]) Ch. Martins, l. c. Bd. II, S. 286 f. Gerh. Rohlfs, Quer durch Afrika. Leipzig 1874. Bd. I, S. 201. Gustav Nachtigal, Sahara und Sudan. Berlin 1881. Bd. II, S. 68.

[2]) H. Gerlach, Die Penninischen Alpen. Zürich 1869. S. 30 ff.

[3]) Gerhard Rohlfs (Quer durch Afrika. Bd. I, S. 200 f. und Neue Beiträge zur Entdeckung und Erforschung Afrikas. S. 34 ff.) vertritt diese Anschauung, ebenso Czerny (Die Wirkungen der Winde auf die Gestaltung der Erde. Ergänzungsheft Nr. 48 zu Petermanns Mitteilungen 1876, S. 30 ff.).

[4]) E. Desor, Aus Sahara und Atlas. Wiesbaden 1865. S. 46 ff.

schem Gestein[1]) und sind somit schon in einer der älteren Perioden der Erdentwicklung dem Schofse des Oceans entstiegen. Aber auch in der östlichen Sahara haben sich Forscher wie Erwin v. Bary[2]) und K. A. Zittel[3]) vergeblich bemüht, Spuren von einem einstigen Diluvialmeere zu beobachten. Im günstigsten Falle beschränkte sich das Saharameer, wie Zittel ausdrücklich bemerkt, auf eine Einbuchtung des Mittelmeeres im Süden von Tunis und auf einen schmalen Golf im Norden der Libyschen Wüste. Und selbst wenn eine gröfsere Wasserbedeckung der Sahara zugegeben werden müfste, so vermöchten wir doch den hieraus gezogenen Schlufs betreffs der Sandbildung nicht anzuerkennen. Dünenartige Sandanhäufungen entstehen nämlich niemals im Meere, sondern am Strande. Angenommen selbst, dafs das Meer allmählich zurückgewichen sei und infolge dessen die Dünenwälle nach und nach mit den weiter rückenden oceanischen Gestaden über das ganze Wüstengebiet geschritten wären, so müfsten diese Sandmassen von dem seit Jahrtausenden wehenden Passate längst schon über den afrikanischen Kontinent hinweggetrieben worden sein, und so wäre sicher der Atlantische Ocean bereits ihre Grabstätte geworden. Die binnenländischen Dünen dürfen deshalb mit einer früheren Meeresbedeckung der von ihnen eingenommenen Gebiete nicht in Verbindung gebracht werden.

Aber woher erhalten dann die Dünen im Innern der Kontinente ihr Material?

Kaum berechtigt ist hier die Annahme von einer chemischen Zersetzung der Felsarten, da dieselbe bei dem geringen Feuchtigkeitsgehalte der Luft sich unmöglich besonders erfolgreich erweisen kann. Auch die Sprengkraft des Eises in Steinritzen können wir nicht zu Hilfe rufen, da Fröste den tropischen und subtropischen Wüstengebieten fast völlig fremd sind. So scheint nur noch eine Kraft übrig zu bleiben, mittels welcher wir die Zertrümmerung des Gesteins im Wüstengebiete der Sahara, wie in allen dünenreichen Binnenländern erklären können: die mechanische Wirkung der Hitze. Wir haben bereits in einem früheren Abschnitte (S. 454) erwähnt, dafs Livingstone und Oskar Fraas die zerstörende Kraft der Besonnung auf ihren Reisen durch Südafrika, resp. Ägypten deutlich zu beobachten Gelegenheit hatten. Auch Schweinfurth bestätigt dies. Derselbe sah im Jahre 1876 im Wadi Sanur (Ägypten) eine grofse Menge Kieselsplitter sowie

[1]) Vgl. die geologische Karte von Westafrika in Petermanns Mitteilungen 1882, Tafel I.

[2]) Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. XII (1877), S. 197.

[3]) Ausland 1883, S. 526.

die dazu gehörigen Kerne, von welchen sich durch Temperaturverzerrung die prismatisch-stengeligen, plankonvexen Stücke abgetrennt hatten. Da sie weite Strecken überlagern und noch dazu in den ödesten Teilen der Libyschen und Arabischen Wüste vorkommen, so ist die Möglichkeit einer Herstellung derselben durch Menschenhand vollständig ausgeschlossen [1]).

Zur Erhärtung der ausgesprochenen Behauptung führen wir ein Beispiel an, welches zwar nichts mit dem Wüstengebiete zu thun hat, aber die mechanische Kraft der Bestrahlungswärme recht deutlich erkennen läfst. In der Nähe von Santiago, der Hauptstadt Chiles, befindet sich ein isolierter Hügel von 60 Meter Höhe: der Cerro de Santa Luzia. Er ist aus grünsteinartigem Porphyr und steil einfallenden oder horizontal liegenden Säulen von Basalt gebildet. Dieser Hügel zeigt nach den Untersuchungen C. Moestas, des Direktors der dortigen Sternwarte, in seinem nördlichen Teile eine tägliche Oscillation oder seitliche Bewegung in der Richtung des scheinbaren Sonnenlaufes. An dem Westabhang des Cerro treten nämlich die nackten Schichtenköpfe der horizontal liegenden Porphyrsäulen zu Tage; sie erfahren während des Tages durch die Sonnenhitze eine beträchtliche Ausdehnung, des Nachts hingegen infolge der starken Abkühlung eine ebenso grofse Kontraktion, und hierdurch wird jene Bewegung hervorgerufen [2]).

Wahrscheinlich wurde der Ton, welchen die berühmte Memnonssäule hervorbrachte, durch eine ähnliche Einwirkung der Sonnenstrahlen auf das Gestein erzeugt, welche Annahme Letronne in seinem Buche „La Statue vocale de Memnon" in scharfsinniger Weise begründet hat. Es mag hierbei daran erinnert werden, dafs auch O. Lenz in dem Dünengebiet südöstlich von Tenduf (am Nordrand der westlichen Sahara) „tönenden Sand" kennen lernte. Er vernahm wiederholt einen dumpfen, einige Sekunden anhaltenden, trompetenartigen Ton, welcher bald an dieser, bald an jener Stelle aus dem Innern eines Sandberges hervorbrach [3]). Lehrreich ist die Thatsache, dafs die Inschriften, welche die eine bis vor wenigen Jahren bei Alexandria stehende „Nadel der Kleopatra" trug, auf der Nordost- und namentlich auf der Südostseite stark verwischt waren, auf den übrigen Seiten hingegen wohl erhalten blieben. Es läfst sich dies sehr gut daraus erklären, dafs bei Sonnenaufgang die oberflächlichen Steinschichten an der Ostseite schnell erhitzt wurden, sich rasch ausdehnten und sich dann von der Granit-

[1]) Ausland 1876, S. 514.

[2]) J. J. v. Tschudi, Reisen durch Südamerika. Leipzig 1869. Bd. V, S. 139 f.

[3]) Mitteilungen d. K. K. geographischen Gesellschaft in Wien. Bd. XXIV (1881), S. 241.

säule loslösten. Wenn derartige Vorgänge schon an granitischem Material bei Alexandria wahrnehmbar sind, so dürfen wir in der Wüste, wo nach klarer, kühler Nacht gewöhnlich mit Sonnenaufgang das blofs liegende Gestein durch die Sonnenstrahlen gar bald intensiv erhitzt wird, an vergleichsweise viel weniger kompaktem Material eine sehr beträchtliche Zersetzung erwarten.

Von sekundärer Bedeutung für die Dünenbildung ist noch ein zweiter Faktor, der jedenfalls auch in dem zuletzt erwähnten Falle mit im Spiele ist. Führt nämlich eine Luftströmung ansehnliche Sandmassen mit sich, so übt sie mit Hilfe derselben eine starke Reibung an den Felswänden aus und wirkt wie eine scharfe Feile, indem sie feine Körnchen von dem Gestein losreifst. So werden nach Fraas' Beobachtungen[1]) die Nummulitenkalke des Mokattam-Gebirges (östlich von Kairo) vom Wüstensande glatt gescheuert. Ebenso berichten R. Hartmann[2]) und Paul Ascherson[3]) von einer solchen trockenen Erosion in Ägypten, welche stattfindet, wenn heftige Winde Sandwolken gegen die Felsen treiben.

Unter welchen Bedingungen entstehen nun Dünen am Strande?

Erforderlich ist hierzu vor allen Dingen, dafs die Sandmassen, welche sich in gröfserer oder geringerer Menge fast überall an den Ufern des Meeres ausbreiten, ihre freie Beweglichkeit bewahren. Wo also die fliefsenden Gewässer reichliche Mengen von Eisenoxyd enthalten, die Sandmassen zu vereinigen, wo zahlreiche organische Bindemittel, wie zugeschwemmte Konchylien, Reste kieseliger und kalkiger Infusorien, die Sandteile zusammenkitten oder wo eine dichte Vegetationsdecke die wandernden Sandhügel am Ufer des Meeres befestigt: da können sich die Dünen nicht entfalten.

Ferner ist zur Dünenbildung beständiger oder doch wenigstens vorherrschender Seewind notwendig, weil bei häufigem Wechsel des Windes die Sandmassen nach allen Richtungen hin regellos zerstreut werden.

Diejenigen Faktoren aber, welche die Dünenbildung am meisten begünstigen, sind Flut und Ebbe, überhaupt lebhafter Wellenschlag an der Küste, sei es auch, dafs derselbe eine Folge von Seestürmen ist. Ohne diese Beihilfe kommt sie überhaupt nicht zu stande oder gelangt wenigstens nicht über die ersten Entwicklungsstadien hinaus. Das Meer setzt bei jeder Aufregung, sowohl bei der regelmäfsig wiederkehrenden Flut, als auch bei Sturm, am Strande Sandmassen ab,

[1]) Aus dem Orient. S. 200.

[2]) Skizze der Nilländer. Berlin 1865. S. 54.

[3]) Ausland 1875, S. 1008.

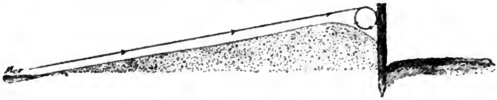
welche es teils aus seinem eigenen Grunde aufgewühlt, teils vom Uferrande hinweggespült hat oder welche von den Flüssen herzugetragen worden sind. So lange die Sandkörnchen nafs sind, haften sie ziemlich fest an einander; sobald sich jedoch das Meer zurückzieht, sei es, dafs die Ebbe wieder eintritt oder dafs der Seesturm nachläfst, so werden sie trocken gelegt, und es entsteht ein loser Sandhaufe, der vom Seewinde landeinwärts getrieben wird. Hieraus erklärt sich zugleich, dafs Meere mit kaum bemerkbaren Gezeiten, wie das Mittelmeer, oder Binnenseen, wie das Kaspische Meer, im allgemeinen nur unbedeutende Dünen an ihren Ufern aufweisen, während sie am offenen Ocean oft ganz ansehnliche Höhen erreichen. So erheben sich die Dünen in der Provence höchstens 7 Meter, am Kaspischen Meere (Südrand, in Masenderan) 7 bis 10 Meter hoch, auf den Ostfriesischen Inseln hingegen 25 Meter, in Holland bei Schoorl 40,7 Meter, bei Bergen op Zoom 33,4 Meter, bei Velsen 32,6 Meter, in den Landes 89 Meter, zwischen Kap Bojador und Kap Verde 120 bis 180 Meter und in der Neuen Welt bei Morro-Melancia (in der Nähe von Kap San Roque) 45 Meter. Bisweilen sind jedoch auch Meere mit geringem Flutgang von hohen Dünen umsäumt. Dies gilt namentlich von der Ostsee. So gipfelt der durchschnittlich 40 Meter hohe Dünenkamm der Kurischen Nehrung, der allerdings ganz einzigartig unter den Ostseedünen dasteht, am Radsen Haken südlich von Nidden in einer Höhe von 64 Metern. Doch kommen auch in Pommern mehrfach noch Dünen von 30 bis 40 Meter Höhe vor; in Mecklenburg hingegen erreichen sie höchstens 5,6 Meter Höhe (so in der Südwestecke der Lübecker Bucht).

Würde der Strand im strengsten Sinne des Wortes eine Ebene sein, so würde sich der durch die Wogen des Meeres ausgeworfene und vom Winde fortgeführte Sand in Schichten von gleichmäfsiger Dicke über den Boden ausbreiten. Indessen ist keine Strandfläche ohne Unebenheiten; vielmehr stellen sich zahlreiche kleine Hindernisse in Gestalt von Steinen, Muschelbruchstücken, Gestrüpp oder irgend welchen zufällig vom Meere angeschwemmten Gegenständen dem Winde und den von ihm fortgewehten Sandmassen entgegen. Der durch Anprall an die genannten Dinge in seiner freien Bewegung gehemmte Wind läfst, weil seine Geschwindigkeit verzögert und somit seine Stofskraft vermindert wird, eine kleine Wolke des Sandes, mit welchem er belastet ist, vor jenem Hemmnis fallen, und so ist der Prozefs der Dünenbildung eingeleitet[1]).

[1]) Vgl. Élisée Reclus, La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 250 sq. Reclus schildert hier in meisterhafter Weise die verschiedenen Stadien in dem Bildungsprozesse der Dünen.

Wenn der Seewind genügende Stärke besitzt, so kann man das Wachstum der Dünen direkt beobachten, insbesondere dann, wenn man eine Reihe von Pfählen rechtwinklig zur Richtung des Windes in den Sand einschlägt (Fig. 66). Sogleich bricht sich die Luft-

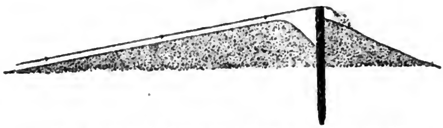
Fig. 66.



Bildung der Düne.

strömung an dem Hindernis, um eine wirbelartige Bewegung zu vollziehen. Der von ihr beschriebene Kreis entspricht stets der Höhe des Pfahles, soweit derselbe aus dem Sande emporragt. Festgehalten durch jenen Wirbel, sinken die herzugeführten Sandkörner vor der Barriere zu Boden, bis sich der Gipfel der Düne im Niveau einer geraden Linie befindet, welche den Fuſs der Düne mit dem oberen Ende der Barriere verbindet. Nun erfährt der Wind keine wesentliche Hemmung mehr; ungehindert streicht er über die kleine Schlucht hinweg, in welcher sich ehemals der Sandwirbel bildete, und läſst erst auf der hinteren Seite der Pfahlreihe und zwar unmittelbar an dieser die Sandteilchen fallen. Diese Seite ist ja der Gewalt des Windes gänzlich entzogen; der herüber gewehte Sand steht also nur unter dem Einfluſs der Schwere und rieselt erst dann nicht weiter herab, wenn die kleinen Sandkörnchen beim Herabrollen die Unebenheiten des Abhanges durch ihre Schwere nicht mehr zu überwinden vermögen. Hier nimmt demnach die Düne eine Neigung an, bei welcher sich die Gesamtmasse vermöge des Zusammenhangs ihrer Teile eben noch erhalten kann; hier ist also der Steilabfall (Fig. 67).

Fig. 67.



Bildung des steileren, landeinwärts gerichteten Dünenabhanges.

In den Landes (Südfrankreich) hat der nach dem Meere, also nach der Windseite gerichtete Abhang eine durchschnittliche Neigung von 7 bis 12 Grad, während der östliche, also binnenwärts liegende Abhang mit einer Böschung von 29 bis 32 Grad abstürzt. Sie würde

jedenfalls bis 45 Grad steigen, wenn nicht der Regen sie etwas besänftigte. An der Westküste von Schleswig und Jütland beträgt die Neigung der Dünenabhänge an der Windseite (gegen Westen) 5 bis 10, an der Leeseite aber 30 Grad [1]). Besitzen die Dünen einen Steilabfall gegen das Meer, so ist dieser meist durch Auswaschung zu erklären, es sei denn, dafs die Dünen dem Landwind (in Nordafrika z. B. dem Nordostpassat) ihre Entstehung verdanken, in welchem Falle ja naturgemäfs der Steilabhang der Düne dem Meere zugewandt sein mufs. Auf der Halbinsel Hela (bei Rixhöft) erreicht der Böschungswinkel der Dünen gegen das Meer hin bisweilen eine Gröfse von 20 Grad und ist sehr veränderlich; seeabwärts zeigen die Dünengehänge meist eine Neigung zwischen 26 und 31 Graden [2]).

Betrachten wir noch einmal Fig. 67, so erkennen wir sofort, warum Häuser, welche durch Dünen verschüttet worden sind, nach der Meerseite zu gewöhnlich durch eine grabenähnliche Vertiefung von dem Kamm der Düne getrennt sind, während an der dem Innern des Landes zugekehrten Seite der Sand sich unmittelbar am Hause wohl bis zur Höhe des Daches anhäuft. Derselben Erscheinung begegnen wir am Fufse der grofsen Pyramiden Ägyptens, an denen sich die Sandmassen in der Weise ablagern, dafs diese Denkmäler im Osten durch eine Schlucht von den hierher gewehten Sandmassen geschieden sind, während sich dieselben auf der entgegengesetzten Seite unmittelbar an diese Monumente anlehnen.

Führt der Wind immer neue Sandmengen herbei, so verschwindet allmählich das ursprüngliche Hindernis unter der Anhäufung der Sandmassen und zwar zunächst unter den Schichten des steileren, landeinwärts gerichteten Abhanges. Da der atmosphärische Strom nun frei über das Hindernis hinwegstreicht, welches zuerst die Dünenbildung einleitete, so wird auch der Sand durch nichts mehr verhindert, nach und nach die Schlucht auszufüllen, welche früher der Luftwirbel vor dem Pfahlwerk offen hielt. Bald befindet sich der Kamm der Düne gerade über der Barriere; diese ist demnach vollständig vom Sande begraben.

Unablässig trägt der Wind neues Material zum Bau der Düne herzu; der Sand steigt bis zum Gipfel hinauf und gleitet auf der anderen Seite bis zur Basis der Düne wieder hinab. Der Fufs der hinteren Böschung rückt so weiter landeinwärts und mit ihm zugleich der

[1]) G. Forchhammer im Neuen Jahrbuch für Mineralogie 1841, S. 5 f.

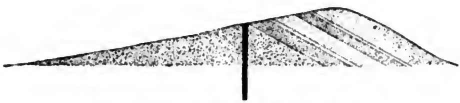
[2]) Julius Schumann, Geologische Wanderungen durch Altpreufsen. Königsberg 1869. S. 65.

ganze hintere Abhang sowie der Kamm: die Düne wächst hinsichtlich ihrer Breite und Höhe.

Nicht immer ist das herzugeführte Material ein gleichartiges. Einmal hat eine sanfte Brise nur feinen, staubähnlichen Sand herzugeweht; ein andermal herrschte stärkerer Wind, welcher zugleich groben, muscheligen Sand fortbewegte, oder es tobte ein Sturm, welcher selbst Muscheln, Zweige und angeschwommene Gegenstände fortrifs. Ein in die Dünen eingearbeiteter Graben zeigt in der That, dafs der dem Innern des Landes zugekehrte Teil der Düne aus einer Anzahl Schichten besteht, deren Material sehr verschiedenartig ist (s. Fig. 68). Es ist unmittelbar klar, dafs im allgemeinen die Komposition um so feiner wird, je weiter sich die Dünen von der Küste entfernen; denn je feiner das Korn ist, um so rascher und leichter, also auch um so weiter wird es vom Winde fortgetrieben.

Aber die Thätigkeit des Windes beschränkt sich nicht allein darauf, die Dünen zu vergröfsern; sie zwingt dieselben vielmehr zuletzt im eigentlichen Sinne des Wortes zu wandern. Der Gegenstand

Fig. 68.



Dünenschichten aus verschiedenartigem Material.

nämlich, vor welchem anfänglich die Sandablagerungen stattfanden, wird im Laufe der Zeit auf irgend welche Weise zerstört. Insekten, Unwetter, Feuchtigkeit oder chemische Kräfte bewirken seinen Verfall; sobald dies aber geschehen ist, wird der Sand, welchem er früher Halt gebot, wieder beweglich. Der Wind, welcher ehemals nur die oberflächlichen Schichten der Düne angriff, um sie unermüdet durch neue Sandlagen zu ersetzen, vermag jetzt den ganzen vorderen Teil der Düne hinwegzureifsen; er verschiebt den hinteren Abhang auf Kosten des maritimen, und so rückt die ganze Basis des Hügels landeinwärts: die Düne wandert

Wird durch heftige Windstöfse ein Teil des Dünenmaterials weit fortgeführt bis zu einem anderen Hindernis, so kann dies die Ursache einer neuen Dünenbildung werden. So entstehen oft drei, vier, fünf und mehr Dünenreihen hinter einander. Weit und breit verdirbt der Flugsand Äcker und Wiesen, füllt Seen und Gewässer aus und nötigt wohl gar die Küstenbewohner, ihre Wohnungen zu verlassen.

Nicht an allen Orten vollzieht sich jenes Wandern der Dünen mit derselben Geschwindigkeit; denn wie ihre Gröfse, so ist auch ihre Bewegungs-Geschwindigkeit von der Kraft und Beharrlichkeit der Winde abhängig; doch ist die Schnelligkeit nicht selten so bedeutend, dafs die dahinter liegenden Ortschaften ernstlich bedroht werden. So berichtet uns Guthe[1]) von den Dünen der Friesischen Inseln, dafs sie, nie rastend, mit gespenstischer Gleichförmigkeit nach Osten über Felder und Wiesen fortschreiten, Häuser und Kirchen verschüttend. Um die letzteren entspinnt sich dann zuweilen ein langer und erbitterter Kampf. Durch die Fenster kriecht man zuweilen ins Gotteshaus, in welchem sich ebenfalls bereits Sandhügel aufrichten, bis endlich auch der letzte Eingang versperrt ist. Es dauert wohl ein halbes oder ein ganzes Jahrhundert, ehe die Mauertrümmer und in den benachbarten Friedhöfen die Särge in den Dünenthälern und am Strande wieder zum Vorschein kommen, und man beerdigt die Toten zum zweiten Male auf dem neuen Kirchhofe, den die inneren Dünen bereits wieder erreicht haben. Auf solche Weise wandern oft meilenweite Strecken, ja ganze Inseln, wie Amrom und Sylt. Auf der Kurischen Nehrung wurden in den letzten Jahrhunderten nicht weniger als sechs Dörfer durch den Sand begraben. Über der Stätte derselben türmen sich gegenwärtig meist noch ungeheure Sandmassen auf; nur das Dorf Kunzen ist auf der Seeseite der Düne, natürlich als Ruinenstätte, bereits wieder blofsgelegt worden. Nicht selten werden durch das Vordringen der Dünen Meeresarme verschlossen (in Südfrankreich étangs genannt), welche sich dann nur durch enge Wasserstrafsen entleeren oder zu Sümpfen werden.

In mehreren dünenreichen Gebieten hat man die Geschwindigkeit festzustellen versucht, mit welcher die Dünen vorrücken. Aus der Thatsache, dafs die um 1650 um 200 Ruten ostwärts verlegte Kirche von Ording in Eiderstädt (in der Südwestecke von Schleswig) im Jahre 1777 schon wieder am Fufse der Dünen lag, läfst sich ein jährliches Vordringen der Dünen von etwa $1\frac{1}{2}$ Ruten (= 7 Meter) ableiten. Ungefähr dieselbe Geschwindigkeit ergiebt sich auch für die Dünen der Insel Sylt und der Niederlande[2]). Auf der Frischen Nehrung wandern die Dünen jährlich um 3,75 bis 5,6 Meter, auf der Kurischen Nehrung im Mittel etwa 5,8 Meter. Nach Brémontiers Untersuchungen schreiten die Dünen von Teste (im Gebiete der Landes) jährlich 20 bis 25 Meter vorwärts und in gleichem Mafse auch die-

[1]) Hermann Guthe, Die Lande Braunschweig und Hannover. Hannover 1867. S. 11.

[2]) Hermann Guthe, l. c. S. 12.

jenigen von Lége[1]). Betrachtet man diese Zahlen als einen für längere Zeiträume geltenden Mittelwert, so gelangt man zu dem Schlufs, dafs 20 Jahrhunderte genügen würden, eine Dünenbedeckung für das weite Gebiet der Landes bis Bordeaux herbeizuführen.

Es läfst sich nun die Frage aufwerfen: Warum sind die Dünen nicht längst schon tief in das Binnenland vorgerückt, wenn ihr Bildungsprozefs sich schon seit Jahrhunderten und noch länger unausgesetzt vollzieht? Warum bedrohen sie nicht mehr und mehr binnenländische Gebiete? Hierauf ist zu erwidern, dafs die Dünen nie eine Zone überschreiten, in welcher sich Land- und Seewind in Bezug auf Intensität und Dauer ungefähr die Wage halten. Insbesondere dringen sie dann nicht tiefer in das Innere des Landes ein, wenn sich hier die Windrichtung häufig und regellos ändert; in diesem Falle werden die Sandmassen ebenso regellos verstreut und vermögen keine Sandhügel zu bilden. Auch werden sie, was natürlich nur vereinzelt vorkommt, zeitweise nach demselben Meere zurückgetrieben, dem sie ihren Ursprung verdanken, wie in Westpreufsen; wenigstens scheint dort der bisweilen gegen das Meer gerichtete Steilabfall darauf hinzudeuten[2]).

Auffallend ist es, dafs die alten Bataver, Angeln und Friesen in ihren Mundarten kein Wort hatten, welches einen Hügel von beweglichem Sand bezeichnete. Doch könnte dies auch eine Folge davon sein, dafs die Sprache dieser Völker bereits vollständig entwickelt war, ehe sie in die von ihnen bewohnten dünenreichen Küstengebiete gelangten. Auffallender noch ist es, dafs weder Strabo noch Plinius, noch irgend ein anderer Schriftsteller des Altertums von wandernden Sandhügeln spricht. Indessen beschreiben diese auch andere Naturerscheinungen nicht, welche doch sicher vor Jahrtausenden bereits bestanden, wie die Gletscher, und so ist auch das Schweigen der klassischen Autoren über die Dünen kein Beweis dafür, dafs die letzteren ehemals überhaupt nicht existierten.

Und doch sind die wandernden Dünen in unserem Erdteil unzweifelhaft eine moderne Erscheinung. Unter einer grofsen Anzahl von Dünen der Gascogne hat man Stämme von Eichen, Fichten und anderen Holzarten entdeckt. Mehr noch: einige Dünen tragen zur Zeit prächtige Hölzer, welche mindestens mehrere Jahrhunderte alt und wahrscheinlich nicht durch Menschenhand angepflanzt worden sind. So befindet sich bei Arcachon ein herrlicher Wald aus gigantischen Fichten und Eichen. Urkunden von 1332 berichten von Wäldern auf

[1]) Élisée Reclus, l. c. Tome II, p. 271.
[2]) Julius Schumann, Geologische Wanderungen durch Altpreufsen. Königsberg 1869. S. 65.

den Dünen von Médoc, in denen Hirsche, Wildschweine und Rehe gejagt wurden, und Michel de Montaigne (1533—1592) schildert die Sandverstäubungen in Südfrankreich, welche „seit einiger Zeit" („depuis quelque temps") mehr und mehr um sich griffen, als eine Neuigkeit. Unglücklicher Weise wurden alle diese schönen Wälder, welche ehemals die flachen Küstengebiete gegen das Eindringen der Sandmassen schützten, am Ausgange des Mittelalters durch unvorsichtige Bauern und Edelleute zerstört, und nun wälzten sich die Verderben bringenden Sandfluten ungehindert über das Land[1]).

Noch neueren Ursprungs sind die Verheerungen, welche die Dünen im Gebiete des Frischen Haffs herbeigeführt haben. Bis ins vorige Jahrhundert war die Frische Nehrung von Danzig bis Pillau mit Wald bedeckt. Diese schönen und in hohem Grade nützlichen Bestände fielen einer Finanzspekulation des Herrn v. Korff unter Friedrich Wilhelm I. zum Opfer, welche dem königlichen Schatze zwar 200 000 Thaler bar einbrachte, dem preufsischen Lande aber einen Schaden von Millionen zufügte durch die unheilbare Entblöfsung des Schutzwalles; denn seitdem schreiten die Dünen unaufhörlich gegen das Innere des Haffs vor. Bereits ist dasselbe zur Hälfte versandet; starker Schilfwuchs droht dasselbe in einen Sumpf zu verwandeln; die Wasserstrafse nach Elbing ist gefährdet und der Fischfang stark beeinträchtigt. Mächtige Sandmassen umlagern die Festungswerke von Pillau und verändern überhaupt in höchst ungünstiger Weise die hydrographischen Verhältnisse jener Gegenden[2]). Nicht minder schlimme Folgen hat die Entwaldung des Küstengebietes in Holland, in der Bretagne, an den Ufern des Michigan-Sees, bei Kap Cod (Massachusetts) und anderwärts nach sich gezogen. Reclus bemerkt mit Recht: Die Uferbewohner dieser Gegenden haben sich über niemand anders zu beklagen als über sich selbst: die wandernden Dünen sind ihr Werk. Es gilt hier mehr als irgendwo, vorsichtig zu sein; denn eine einzige Unbedachtsamkeit kann grofses Unglück hervorrufen: so verdankt eine der höchsten Dünen von Friesland (bei Staring) ihren Ursprung der Zerstörung einer einzigen Eiche[3]).

Sache des Menschen ist es nun, dem weiteren Vordringen jener Sandhügel zu wehren, und die Natur selbst hat ihm hierzu Mittel an die Hand gegeben, indem sie Pflanzen erschuf, welche selbst auf dem dürrsten Sandboden fortkommen und so gesellig leben, dafs sie den Boden mit einer dichten Decke zu überkleiden vermögen. Sie gewähren

[1]) Élisée Reclus, l. c. Tome II, p. 274 sq.
[2]) Foss in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Band XI (1861), S. 251 ff.
[3]) Élisée Reclus, l. c. Tome II, p. 275.

einen Schutz gegen die Sandwehen, indem sie zunächst den Flugsand mit ihren Blättern auffangen und sodann vermöge ihres dichten, reich verschlungenen Wurzelsystems den Sandmassen einen festen Zusammenhalt verleihen.

Nur in der tropischen Zone sorgt die Natur häufig selbst dafür; weithin überziehen hier Mangrovewaldungen die Küstengebiete und verhindern so das Wandern der Dünen. In der gemäfsigten Zone jedoch bedarf es hierzu der energischen Thätigkeit des Menschen, welcher zweckentsprechende Gewächse auf den Sandhügeln anzupflanzen hat.

In hohem Grade eignet sich zur Befestigung der Dünen der Sandhalm, Ammophila arenaria, ein graugrünes, $^{2}/_{3}$ bis 1 Meter hohes Gras. Von den 5 bis 10 Centimeter langen Gliedern des walzenförmigen Wurzelstockes gehen lange, dünne, wagerecht laufende Wurzelfasern aus, und am unteren Stammende befinden sich 5 oder 6 Blätter, in deren Blattwinkeln kleine Knöspchen stehen, aus denen sich neue Pflanzen bilden, sobald sie mit Sand bedeckt werden. Die Ähren, welche in der Mitte des August reifen, sind aufserordentlich reich an Körnern, was natürlich der Verbreitung der Pflanze sehr förderlich ist. Für den oben genannten Zweck erweist sie sich auch deshalb als höchst brauchbar, weil sie selbst im Winter Halm und Blatt bewahrt und weil ferner Sandüberschüttungen durchaus nicht ihren Tod herbeiführen, sie vielmehr zu stärkerer Entwicklung von Seitentrieben und Schöfslingen anregen. Noch in einer Tiefe von 6 Metern sind die Wurzeln dieser Pflanze lebensfähig.

Nicht ganz so hilfreiche Dienste wie der Sandhalm leistet der Strandhafer, Elymus arenarius, da seine Blätter im Winter absterben und auch Mutterpflanze und Schöfslinge weniger dicht verfilzen als bei jenem.

Sind mit Hilfe dieser beiden Pflanzen die Dünen zum Stillstand oder „vor Anker“ gebracht worden, so bildet sich gar bald durch Blattabfall eine dünne Humusschicht. Nun stellen sich auch gröfsere Pflanzen ein, z. B. der Seedorn (Hippophaë rhamnoides), dessen dichtes Gestrüpp sich auch dann noch reichlich entwickelt, wenn die unteren Teile in Sand vergraben sind, die Sandsegge (Carex arenaria), welche durch ihren 10 Meter langen Wurzelstock die anderen Pflanzen fest verknüpft, Gagel (Myrica gale) und die Krähenbeere (Empetrum nigrum). Eine Weide (Salix repens) kriecht den Abhang hinauf; wilde Rosen (R. pimpinellifolia) und der Wachholderstrauch siedeln sich an. Heidekraut überzieht den Boden mit einer dichten Decke,

und so werden allmählich diejenigen Pflanzen wieder verdrängt, welche die Befestigung der Dünen einleiteten [1]).

Die Holländer, diese grofsen Meister für alle Arbeiten am Meeresufer, sind die ersten gewesen, welche die Notwendigkeit erkannten, die Dünen zu befestigen. Es geschieht dies an den niederländischen Küsten seit mehr als einem Jahrhundert durch Anpflanzung von Sandhalm und Strandhafer, sowie von Ahorn- und Tannengehölz. In Frankreich war es Brémontier, welcher im Jahre 1787 die „Dämpfung" der Dünen in den Landes begann. Bis zum Jahre 1793 hatte man in der Umgebung von Arcachon dem Wandern des Flugsandes bereits auf einer Fläche von 250 Hektar gesteuert durch Anlegung von Tannen- und Eichenwaldungen und zwar um den Preis von nur 200 Francs für den Hektar. In unserem Jahrhundert wurde das Werk der Wiederbewaldung fortgesetzt und zwar mit besonderem Eifer unter der Regierung Napoleons III., der sich in dieser Hinsicht grofse Verdienste erworben hat.

Infolge des steigenden Preises des Holzes und des Harzes, welches die Tannen liefern, hat sich auch der Wert der Wälder im Gebiet der Landes aufserordentlich erhöht; man darf denselben bereits auf 25 Millionen Francs, den Hektar zu 600 Francs gerechnet, schätzen. Eine der schönsten Waldungen ist das Tannengehölz bei Dax, welches eine Breite von nicht weniger als 25 Wegstunden besitzt. Den Tannenwäldern verdankt ein grofser Teil der Landes seinen gegenwärtigen Wohlstand. Sehr ansehnlich ist namentlich die Menge des ausfliefsenden Harzes, welches aus 5 bis 6 Ritzen am Fufse aller grofsen Tannenbäume hervorquillt. Leider zeigt sich auch hier die Thorheit der Menschen, welche so oft die Henne schlachten, die ihnen goldene Eier legt. Gereizt durch die Menge Geldes, welche ihnen die Harzernte einbringt, schädigen sie die Bäume durch übermäfsiges Anbohren, und so sind hie und da ansehnliche Anpflanzungen bereits wieder zerstört worden. Auch Eichenwälder hat man in den Landes angelegt; insbesondere scheint die Korkeiche eine hohe landwirtschaftliche Bedeutung zu erlangen. So ringt man darnach, die Schäden wieder zu beseitigen, welche durch menschliche Unbedachtsamkeit einst dem Lande zugefügt wurden.

[1]) Hermann Guthe, l. c. S. 12 f.

XIII. Die Fjordbildungen[1]).

Fjorde sind tiefe und steile Schluchten an Festlands- oder Inselküsten. Sehr häufig dringen diese Einschnitte senkrecht oder unter sehr steilen Winkeln in das Land hinein. In den letzteren Fällen kann es geschehen, dafs zwei solcher Fjorde sich zu einer Gabel vereinigen und ein Inseldreieck mit schmaler Grundlinie und langen Schenkeln von dem Festlande ablösen. Die aufsenliegenden Inseln und die Mündungen der Fjorde lassen uns noch deutlich erkennen, dafs die Küstenlinie vor ihrer Verletzung glatt und ziemlich gerade verlief. Am reinsten wird diese Art Zerrüttung an der Westküste Grönlands sichtbar; dort dringen die Einschnitte tief landeinwärts; sie sind auffallend schmal, erstrecken sich fast alle mehr oder weniger senkrecht zur Richtung der Küste, deren ehemaligen Rand das geistige Auge ohne jeden Zwang wieder herzustellen vermag (Fig. 69). Nicht immer aber stehen die Einschnitte senkrecht auf der Küste, sondern sie werden auch durch Längenklüfte gekreuzt, welche parallel der Küste folgen, oder sie verzweigen sich mit Vorliebe unter spitzen Winkeln ins Innere. Derartige Erscheinungen treffen wir an der Westküste von Nordamerika nördlich von der Juan de Fuca-Strafse bis zum Thlinkiten-Archipel und ebenso an der Westküste Südamerikas von der Insel Chiloë bis zum Kap Hoorn.

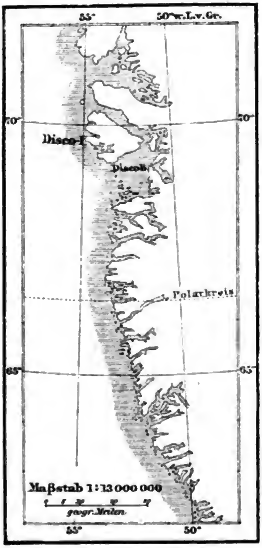
Fjorde, welche ein Landgebiet vollständig durchbrechen, werden im Gegensatz zu den Fjordbuchten als Fjordstrafsen bezeichnet. Dieselben tragen durchweg die Merkmale der Fjordbuchten an sich; nur sind sie an beiden Enden offen. Sie fehlen in keiner Fjordregion, sind aber besonders häufig auf den Hebriden, Orkney- und Shetland-

[1]) Dieser den „Neuen Problemen" (3. Aufl. S. 9–23) entlehnte Abschnitt hat eine durchgreifende Umarbeitung erfahren; insbesondere ist die zweite Hälfte im wesentlichen von dem Herausgeber neu hinzugefügt worden.

Inseln, auf den Färöern, auf Spitzbergen, Franz-Josef-Land, den Feuerlands-Inseln u. a.

Was die Fjorde von allen ähnlichen Küstengliederungen streng unterscheidet, ist ihre örtliche Anhäufung und ihr geselliges Auftreten. Sie sind an irgend einer Stelle entweder in grofser Anzahl vorhanden, oder sie fehlen gänzlich. Nicht einmal da, wo eine Fjordküste endet, findet ein allmählicher Übergang zu weniger reich gegliederten Ufern statt; vielmehr ändern dieselben plötzlich ohne vermittelnde Formen ihren Charakter. Die Fjordküsten gewähren uns das Gemälde von früher glatt und gerade verlaufenden, dann mürbe gewordenen, zerfetzten und zertrümmerten Rändern der Festlande oder Inseln.

Fig. 69.



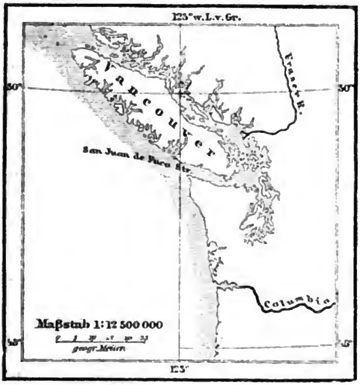
Fjorde an der Westküste Grönlands.

Wer auf einer gröfseren Erdkugel oder einer geräumigen Erdkarte eine Musterung hält, der wird rasch inne werden, dafs von unseren fünf Weltteilen nur zwei echte Fjordbildungen besitzen. Sie fehlen nicht nur in Afrika und in Neuholland, sondern auch auffallender Weise an allen Küsten Asiens, wenn man, wie dies wohl ohne Widerspruch geschieht, die Inselgruppe Nowaja Semlja zu Europa zählt. Nur die Küsten unseres Weltteils und die amerikanischen sind von jenen Verheerungen heimgesucht worden. Selbstverständlich rechnen wir dabei Grönland zu Nordamerika, da der Vorschlag des Polarentdeckers Elisha Kent Kane, Grönland, dessen Inselnatur durch die Entdeckung der nordwestlichen Durchfahrt vor jedem Zweifel gesichert worden ist, als sechsten Erdteil gelten zu lassen, bisher sich keines Beifalls erfreut hat[1]).

[1]) Fjorde finden sich auch an Inseln im südlichen Teile des Indischen Oceans, wie an der Kerguelen-Insel, und im südlichen Teile des Atlantischen Oceans, wie an der Falklands-, Süd-Shetland-, Süd-Orkney-, Süd-Georgia- und

Aber auch in Europa und Amerika ist das Auftreten der Fjorde auf scharf begrenzte Räume eingeschränkt. Wir finden die Zerklüftung stark vorgeschritten auf Spitzbergen, dann an der Nord- und Westküste von Skandinavien, an der Nord- und Westküste von Schottland, an der Westküste von Irland, an der Nord- und Westküste von Island, an bekannten Stellen der Ostküste und längs der ganzen Westküste Grönlands. Der Schauplatz der nordwestlichen Durchfahrt besteht fast nur aus Strafsen, Meerengen, Sunden und Fjorden. Auch Labrador fehlen an der Nordküste die Fjorde nicht, wenn es auch, verglichen mit dem gegenüberliegenden Grönland, sehr arm daran ist.

Fig. 70.



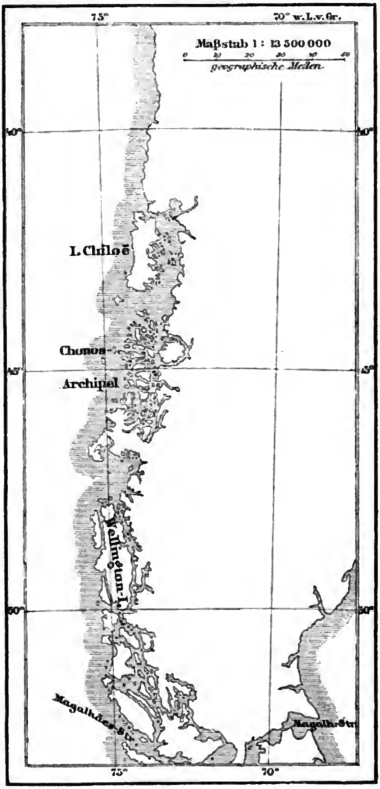
Fjorde an der Vancouver-Insel und dem benachbarten Festland.

An den atlantischen Umrissen Nordamerikas treffen wir scharf gezeichnete Zerklüftungen in Neufundland, schwächer angedeutete bei Neuschottland, bis die letzten Bildungen an der Küste des Staates Maine endigen. Weit reicher an gleichartigen Erscheinungen sind am Westrande Nordamerikas die britischen Küsten (Fig. 70) und die des Territoriums Alaska, deren Ähnlichkeit mit den norwegischen Fjordküsten uns

Süd-Sandwich-Gruppe. Wir berufen uns aber auf diese Beispiele nicht, weil die Gliederung dieser Inseln nur auf Specialkarten nachgesehen werden könnte, die schwerlich der Lesermehrzahl zu Handen sind.

von verschiedenen Forschern ausdrücklich bezeugt wird[1]). Von der Vancouver-Insel gegen Süden bespült dagegen das Stille Meer sowohl in Nord-, als auch in Südamerika festgeschlossene und unbenagte Küsten, bis wir uns Patagonien nähern, wo die Verwitterung des Festlandes wieder anhebt, um zuletzt an der Magalhães-Strafse und im Feuerlande durch das Gemälde einer durch Spalten, Klüfte und Risse in zahllose Strafsen, Engen, Sunde, Schluchten, in Inseln, Felsenzungen, Hörner, Klippen und Schären zertrümmerten Planetenstelle uns zu überraschen (Fig. 71).

Fig. 71.



Fjorde an der Westküste Patagoniens.

Aus der Aufzählung ihres örtlichen Auftretens wollte man schliefsen, dafs die Fjorde vorzugsweise auf die Nord- und Westküsten beschränkt sind und dafs zu ihrer Entwicklung eine westliche oder nördliche Lage erforderlich sei. Gewifs finden sich auch, wie sich aus dem Späteren ergeben wird, die Bedingungen zu einer reichlichen Küstenzer-

[1]) v. Kittlitz, Denkwürdigkeiten. Gotha 1858. Bd. I, S. 192. F. Whymper, Territory of Alaska. London 1868. p. 19. R. Brown in einem Vortrag auf der Versammlung der britischen Naturforscher in Norwich (Athenaeum 1868, Nr. 2133, p. 341).

klüftung minder häufig an Ostküsten; doch fehlen sie auch dort nicht gänzlich. In Spitzbergen treffen wir sie allenthalben, und in Skandinavien sind sie auf der Ostseite nur durch das vorliegende Land verhüllt. Man wird bemerken, dafs die oberen Läufe sehr vieler Flüsse, die sich ins Baltische Meer ergiefsen, durch schlauchartige, enge Gebirgsseen ihren Weg nehmen, so dafs, wenn das Baltische Meer sich bis zur Spiegelhöhe dieser Seen erheben oder die Seen durch ein Herabschweben des Landes bis zur Niveauhöhe des Baltischen Meeres sinken könnten, auch die Ostküste Skandinaviens ihre Fjorde, und zwar nicht blofs in den Seen, sondern auch in den Thälern der meisten Flüsse besitzen würde. Um auf Späteres vorzubereiten, möchten wir hier sogleich hinzufügen, dafs solche schmale Gebirgsseen, die senkrecht auf der Erhebungsachse von Gebirgen oder Hochländern stehen, als Binnenfjorde betrachtet werden können. Die Armut der Ostküste Grönlands an Einschnitten ist den Mängeln unserer Karten beizumessen. Selten ist die dortige Küste zugänglich gewesen, weil ein Saum von Eis und Treibeis die Landungen von Walfängern verhinderte. Dafs auch dort eine starke Zerrüttung landeinwärts schreitet, bezeugt uns das nördliche Stück von lat. 69½° bis lat. 75°, welches von Scoresby und Clavering aufgenommen werden konnte und dessen Umrisse zwar weniger Ähnlichkeit mit der Westküste von Grönland, desto mehr aber mit den Uferrändern von Britisch-Nordamerika und dem Territorium von Alaska besitzen. Nicht gänzlich fehlt es jedoch dieser Ostküste an ungewöhnlich tief eindringenden Meeresschluchten. Scoresby vermutete sogar, dafs der nach seinem Vater von ihm benannte Sund, bis zu dessen Vertiefung er nicht vorzudringen vermochte, sich quer über ganz Grönland bis zur Baffinsbai erstrecken könnte, worüber jedermann freilich denken kann, was er will.

Die gröfsere Häufigkeit der Einschnitte an den Nord- und Westküsten Schottlands, Irlands und Islands dürfen wir aber nicht gänzlich aus dem Gesicht verlieren. In Bezug auf das letztere bemerkt G. G. Winkler in seinem Buche über Island: „Nur die an den Rand der Insel hinausgeschobenen Bergmassen sind eingeschnitten und zwar sehr tief und vielfältig, so dafs der Gegensatz zu den Massen des Innern um so auffallender ist. Jedoch im Südosten der Insel tritt die gröfste Massenanhäufung, der Klofajökull, auch mit geschlossenem Rande zum Meere heran.“ Noch bestimmter drückt sich Karl Vogt aus[1]). „Es ist sehr leicht,“ belehrt er uns, „auf der ersten besten Karte Islands, auch wenn sie nicht geologisch koloriert ist, den Um-

[1]) Nordfahrt entlang der norwegischen Küste etc. Frankfurt a. M. 1863. S. 403 f.

fang der basaltischen und vulkanischen Zone an der Meeresküste nachzuweisen. Überall, wo tief eingeschnittene, zackige Fjorde, oft durch lange Zungen und hohe Rücken von einander getrennt, die Konturen der Meeresküste bilden, wo die Küsten steil in die See hinein abfallen, so dafs häufig nur bei Ebbe auf dem Kies des Strandes, häufig aber gar kein Weg längs des Meeres hinführt, — überall da kann man mit Bestimmtheit sagen, dafs der Basalt und die ihm zugehörigen Gesteine die Küste bilden. Wo hingegen weite Sandflächen sich langsam und allmählich gegen das Meer hin abflachen, wo lange, schmale Dünenwälle, hinter welchen die Flüsse sich stauen und ablenken, seichte Lagunen von dem Meere selbst abtrennen, da kann man mit Sicherheit darauf rechnen, dafs die neuen Vulkane bis zu der Küste herangehen. Zieht man eine Linie vom Kap Reykjanes im Südwesten nach Kap Langanes im Nordosten Islands, so ist alles im Norden gelegene Land einzig und allein von Basaltströmen gebildet.“

Man würde Vogt gewifs mifsverstehen, wenn man seinen Worten den Sinn beilegen wollte, als ob die Erscheinung der Fjorde an das Auftreten des Basalts gebunden sei; denn die Fjordeinschnitte sind fast in jeder Formation anzutreffen. Sie verschonen weder Jugend noch Alter der Felsarten, weder Laven noch Geschichtetes, weder Krystallinisches noch Geschiefertes. Nicht der chronologische Rang der Gesteine, wohl aber ihre innere Struktur und ihre chemischen Bestandteile haben einigen Einflufs auf das Zeitmafs der Verwitterung. Je rascher die Felsarten einer Fjordküste zersetzt werden, desto mehr werden sich die Fjorde in Inseln, Klippen und Schären vor der Küste verwandeln; je spröder und dichter ihr Gefüge, je besser ihre Bestandteile der Zersetzung widerstehen, desto regelmäfsiger werden die Einschnitte sein, und desto länger wird der Prozefs des Übergangs aus einer Fjordküste in einen Schärensaum dauern. Kapitän King[1]), dem wir nach Fitzroy unser neueres Wissen von der Magalhãesschen Inselwelt verdanken, bemerkt von den Fjorden des Feuerlandes, dafs sie überall unregelmäfsig mit Inseln bestreut sind, wo granitische und Trappformationen vorkommen, dafs sie aber in der Thonschieferformation so schnurgerade sich ausstrecken, dafs ein Parallellineal, auf der Landkarte am südlichen Ufer eines Sundes angelegt, auf der ent-

[1]) Journal of the R. Geogr. Society of London 1830—31, p. 155 sq. Vgl. hierzu Charles Darwin, Geologische Beobachtungen über Südamerika. Übersetzt von J. Victor Carus. Stuttgart 1878. S. 234. So ist der 120 engl. Meilen (= 26 geogr. Meilen) lange und 2 engl. Meilen breite Beagle-Fjord zum gröfsten Teil vollkommen gerade; der Blick des Reisenden ist darum durch zwei Reihen von Bergen scharf begrenzt; nur am Hintergrunde schweift er hinaus in endlose Fernen.

gegengesetzten Küste ebenfalls die Vorlande berühren würde. Es ist demnach wohl klar, daſs die abwechselnde Physiognomie von Fjordküsten, der höhere oder geringere Grad ihrer Auflösung entweder der gröſseren oder minderen Energie der zerrüttenden Kräfte oder dem gröſseren oder geringeren Widerstand der Felsarten beizumessen ist. Es darf uns daher nicht beunruhigen, daſs der südliche Teil der Westküste Grönlands, wo sich die Küstenspalten so scharf und regelmäſsig folgen, wie wir durch Rinck wissen, aus Granit und Gneis besteht, der sich so mürbe in der Magalhães-Straſse gezeigt hat. Es giebt auch Unterschiede in den Granitarten, und die eine zerfällt leichter als die andere[1]. Nördlich von der Disco-Insel beginnt eine Trappformation, und man wird auf jeder Karte (s. Fig. 69) sofort bemerken, daſs sich gleich von jener Stelle an die Gestalt der Fjorde ändert. Es ist daher ihre Gegenwart oder Abwesenheit nicht an gewisse Felsarten gebunden; wohl aber stehen charakteristische Formen der Verwitterung mit ihnen in Zusammenhang, so daſs also ein getreues Küstenbild uns etwas, wenn auch nur weniges, von der geognostischen Beschaffenheit der Küsten erraten läſst.

Endlich ist hinsichtlich der Verbreitung der Fjorde noch zu bemerken, daſs sie keineswegs allein an den oceanischen Küsten vorkommen. Vielmehr begegnen wir ihnen auch an den Ufern der Binnenseen, und wenn sie sich hier auch nicht in so groſsartiger Weise entfalten wie am Ocean, so sind sie doch durch alle Fjordmerkmale vor jeder Verwechslung mit anderen Meeresstraſsen gesichert. So sind dieselben innerhalb der einst übergletscherten Teile von Europa und Nordamerika ziemlich häufig, wie man leicht erkennt, wenn man Specialkarten von Finnland, Irland, vom Innern der Staaten Maine und New-York oder von den Räumen zwischen dem Sankt Lorenz, der Hudsonsbai und dem Felsengebirge mit forschendem Auge betrachtet. Namentlich bieten die Ufer der fünf groſsen canadischen Seen (nur der Erie-See macht eine Ausnahme) vielfach prächtige Fjordküsten[2].

Schwerlich wird es jemandem bei unserer Musterung der Fjordgebiete entgangen sein, daſs wir ihnen nur unter hohen Breiten begegnen. In Europa erstrecken sie sich von dem äuſsersten bekannten Norden bis zur Südwestspitze Irlands oder bis höchstens lat. $51^1/_2{}^0$. An der Ostküste Amerikas sind sie noch scharf ausgeprägt unter gleicher Breite in Neufundland, verwischter an der Süd-

[1]) Über die rasche Zersetzung des Granit bei Berührung mit Wasser vgl. Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl. Bonn 1866. Bd. III, S. 314 ff.

[2]) Fr. Ratzel: Über Fjordbildungen an Binnenseen in Petermanns Mitteilungen 1880, S. 387 ff.

spitze von Neuschottland und beinahe unkenntlich am gegenüber liegenden Festlande im Staate Maine, wo sie bei lat. $43^2/_3$ ° ihre Äquatorialgrenze erreichen. An der Westküste von Nordamerika endigen sie scharf am Eingang der Juan de Fuca-Strafse unter lat. 48°, erstrecken sich aber binnenwärts, wenn man den Puget-Sund ihnen beizählt, bis lat. 47° N. In Südamerika dagegen treffen wir sie schon an der Nordspitze von Chiloë, also bei lat. $41^3/_4$ ° S. An beiden Stellen der Westküste Amerikas, im Norden wie im Süden, ist die Fjordenzone scharf begrenzt. Nicht eine einzige zertrümmerte Küstenstelle findet sich zwischen beiden Endpunkten, sondern die Uferlinien bewegen sich glatt und einförmig. Endigt der Fjordengürtel an der Westküste Europas unter höheren Breiten als an der Ostküste Amerikas, an dieser bei geringerer Polhöhe wie in British-Columbia, nähert sich an der Westküste Südamerikas wiederum die Grenze der Fjorde dem Äquator mehr als an der Westküste Nordamerikas, so wird jedermann, der mit dem Lauf der Linien gleicher Jahreswärme bekannt ist, zu dem Schlusse geführt werden, dafs sich die Äquatorialgrenzen der Fjorde an den Küsten der Festlande nach denselben Gesetzen heben und senken wie die Isothermen, und in der That findet sich auch, dafs die äufsersten Fjorde Halt machen vor einer Jahresmittelwärme von 10° C. (8° R.). Das Mafs der Jahresmittelwärme ist jedoch viel weniger entscheidend als die Mittelwärme der kältesten Monate; allein die Verteilung der Wärme innerhalb des Jahres wird wenigstens bei den Fjorden der amerikanischen Westküste nahezu dieselbe sein wie bei denen Europas, weil beide unter den Satzungen eines Inselklimas stehen.

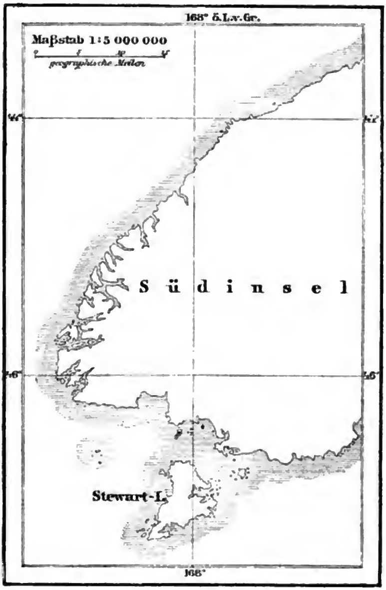
Auch bemerken wir, dafs die Äquatorialgrenzen der Südseefjorde zusammenfallen mit einem anderen klimatischen Abschnitte. Auf unseren Regenkarten der Erde liegt die Polargrenze der subtropischen Winterregen fast genau da, wo die Fjorde aufhören; sie fallen also in das Gebiet der Regen zu allen Jahreszeiten. Nirgends aber finden wir innerhalb der letzteren die Fjorde reicher entwickelt als da, wo die stärksten Niederschläge erfolgen. Sitcha im Territorium Alaska, der patagonische Westrand und Norwegen gehören zu den bestgenetzten Küsten der Erde; aber auch Irland, Schottland und Island haben sich niemals über Regenmangel beklagt. Wenn die Inselwelt der sogenannten nordwestlichen Durchfahrt viel ärmer ist an Fjorden als die Westküste Grönlands, so könnte man die Schuld vielleicht auf unsere Karten schieben. Wer die Litteratur arktischer Reisen durchwandert hat, wird sich der häufigen Klagen der Schlittenfahrer erinnern, die, wenn sie über Schnee- und Eisflächen wanderten, so selten entscheiden konnten, ob sie sich auf einer gefrorenen Meeresdecke oder über Land

bewegten. Vergleicht man ältere Karten jener Gebiete mit neueren, so wird man finden, dafs auch die Fjorde (inlets), Strafsen, Sunde und Meerengen beständig an Zahl wuchsen und die Küsten von jedem späteren Entdecker zerrütteter dargestellt wurden als von seinen Vorgängern. Echte Fjorde liegen aber immer nur an Steilküsten; es sind Meeresschluchten, die kein Seemann und kein Schlittenfahrer übersehen wird, und so dürfen wir wohl die geringere Häufigkeit der Fjorde im Archipel der nordwestlichen Durchfahrt zum Teil der Armut an Niederschlägen zuschreiben. Von dem dortigen Mangel an Schnee und Regen wollen wir nur ein belehrendes Beispiel anführen. Auf der Rückkehr von seiner ruhmlosen Fahrt in der Baffins-See schickte Sir John Ross am 1. September 1818 am Eingang des Lancaster-Sundes beim Vorgebirge Byam Martin den Lieutenant Parry ans Land, der dort eine Flagge zurückliefs. Im nächsten Jahre wurde sie von Fischer, einem Offizier unter Edward William Parry, wieder aufgesucht, und dieser fand im Schnee die noch völlig unverwischten Fufsstapfen seiner Vorgänger, so dafs also in 11 Monaten weder Regen noch Schnee dort gefallen sein konnte.

Als wir uns vor Jahren mit diesen Untersuchungen beschäftigten, beunruhigte uns stets der Gedanke, dafs, wenn die Fjorde an gewisse klimatische Bedingungen und namentlich an bestimmte Isothermengürtel gebunden seien und sie aufserdem eine westliche Lage oder wenigstens eine Lage erforderten, die reichliche Niederschläge begünstige, Fjordbildungen auf der Südinsel Neuseelands nicht fehlen dürften, da an ihrer Westküste genau dieselben klimatischen Verhältnisse wiederkehren wie unter gleichen Breiten in Patagonien. Die Karten, die uns damals zur Verfügung standen, bestätigten diese Forderung nicht, bis endlich nach Ferd. v. Hochstetters Rückkehr genauere Bilder jener Inselgruppe in unsere Hände gelangten. Da ergab sich gleich (Fig. 72) auf den ersten Blick, dafs die Westküste der Südinsel in ihren Umrissen ein grönländisches Gepräge trägt, dafs die bisher vermifsten senkrechten, schmalen Einschnitte in befriedigender Gestalt dort vorhanden sind und dafs sie scharf an einer Küstenstelle endigen, jenseits welcher gegen Norden keine ähnliche Gliederung mehr auftritt, man müfste denn die zertrümmerte Inselwelt im Charlotte-Sund vor der Cookstrafse, wie F. v. Hochstetter es zu thun geneigt scheint, unter dieselben Erscheinungen zählen. Auch in Neuseeland gewahren wir deutlich eine Äquatorialgrenze der Fjorde, die den 45. Breitengrad noch ein wenig überschreitet; auch dort zeigen unsere Isothermenkarten die Linie von 10° C. (8° R.) Jahresmittelwärme, und auch dort findet sich nur wenig weiter nordwärts die Äquatorialgrenze der Regen zu allen Jahreszeiten.

Damit man dies nicht mifsdeute, fügen wir hinzu, dafs unter gleichen Vorbedingungen viel weniger Niederschläge in der Zone des Regens zu allen Jahreszeiten als in der Zone der Winterregen vorkommen. Es handelt sich aber hier nicht um die Quantitäten des Regenfalls, sondern um die klimatische Veränderung, welche die Regenverteilung innerhalb der Jahreszeiten hervorbringt.

Fig. 72.



Fjorde der Südinsel Neuseelands.

Wir glauben demnach zu der Annahme berechtigt zu sein, dafs zwischen den fjordartigen Zerklüftungen der Küsten und gewissen klimatischen Verhältnissen ein enger Zusammenhang besteht, und zwar scheinen niedrige Temperaturen und reichliche Niederschläge zu allen Jahreszeiten ihr Auftreten wesentlich zu begünstigen.

Um so strenger müssen wir prüfen, ob nicht dennoch jenseits der von uns gezogenen Äquatorialgrenzen unter geringeren Breiten sich gleiche Erscheinungen einstellen. Wenn wir die dalmatinische Küste auf einer Handkarte betrachten, so haben ihre Bruchstücke eine ver-

dächtige Ähnlichkeit mit der Zerrüttung der Küsten an und nördlich von der Vancouver-Insel; sobald wir aber Karten in gröfserem Mafsstabe zu Rate ziehen, lehrt uns der erste Vergleich schon, dafs wir dort Erscheinungen anderer Natur vor uns haben. Der Inselstreifen an der dalmatinischen Küste besteht aus schmalen, über das Wasser ragenden Bergrücken, die parallel mit einander streichen. Sowohl ihre Umrisse, als die der Festlandsküste verlaufen glatt und unversehrt, und vergebens suchen wir nach senkrechten Einschnitten. Die Peloponnes mit ihrer Inselschar und ihren vorgestreckten fingerartigen Gliedern, vom geistreichen Strabo mit einem Platanenblatt verglichen, der Dreizack der chalcidischen Halbinsel und die gegenüber liegenden Küsten Kleinasiens, sollten sie nicht wegen ihrer Umrisse den Namen eines mediterraneischen Feuerlandes verdienen? Dennoch verschwindet auch dort die magalhäessche Physiognomie, sowie man Specialkarten befragt. Bei echten Fjordküsten nimmt die Zahl der kleinen Kükteneinschnitte zu, je gröfser der Mafsstab der Karte wird; in Griechenland und Kleinasien bleibt sie sich gleich, und was im gedrängten Bilde einem Fjorde glich, verwandelt sich auf dem gröfseren Blatte in einen Golf. Auch belehrt uns schon Sir John Herschel, dafs die Gliederung der illyrischen Halbinsel dem Bau der gegenüber liegenden kleinasiatischen Küste entspreche. Zwei Gebirgswelten, die sich vereinigen möchten oder vereinigt waren, sinken dort unter Wasser, und ihre Umrisse tragen deutlich ein anderes Gepräge als die von zerklüfteten Steilküsten. Ebenso wenig wie in den genannten Fällen vermögen wir in den vielgestaltigen Buchten an der Südostküste von China und an der Westküste von Korea (vgl. hierzu Taf. X in Petermanns Mitteilungen von 1883) echte Fjorde zu erkennen.

Sind die Fjorde nur auf strengere Klimate beschränkt, so rechtfertigt sich ihre Abwesenheit in Australien, in Afrika und in Südasien; desto mehr mufs uns aber auffallen, dafs wir sie an der Nordküste Asiens, an beiden Gestaden Kamtschatkas und im Tschuktschenlande vermissen. Man könnte auch hier wieder die Armut an Niederschlägen vorschützen; denn jene Uferstrecken gehören zum grofsen Teil in das arktische Gebiet mit regenarmen Wintern (vgl. hierzu die Karte der Regenzonen im zweiten Bande) oder liegen wenigstens dicht am Rande desselben. Indes dürfte der Grund für ihre asiatische Abwesenheit doch ein anderer sein. Aus der Geschichte der Fahrten im russischen Eismeer, sowie aus Ferd. v. Wrangells und Lieutenant Anjous sibirischen Küstenaufnahmen ergiebt sich überall, dafs das asiatische wie das europäische Rufsland zu flachen Gestaden nach dem Eismeer herabsinkt und nur an selteneren Stellen niedere Klippen bis an den Rand der See treten. Steile Küsten besitzt nur das Taimyrland an

seinen nördlichen Hörnern, dem Taimyr- und Tscheljuskinkap. Jene arktischen Spitzen des asiatischen Kontinents sind von 1743 bis 1878 nicht besucht worden. Die 1743 von Laptew und Tscheljuskin entworfenen Karten waren zu wenig zuverlässig, als dafs sie die Frage nach der dortigen Fjordbildung hätten entscheiden können; doch zeigen auch die neueren Aufnahmen jener Küsten durch Nordenskiöld im Herbste des Jahres 1878 keine Fjorde[1]). Es wird uns also hier eine neue Bedingung ihres Auftretens fühlbar, nämlich dafs sie an Steilküsten gebunden sind. Wo wir sie antreffen, dürfen wir schon aus den Umrissen schliefsen, dafs sich die Küsten jäh aus dem Meer erheben und dafs je steiler, desto energischer bei gleichen Bedingungen die Fjordbildung erfolgt. Durch die Steilheit ihrer Küsten zeichnen sich aus: Spitzbergen, Norwegen, Schottland, zum Teil auch Irland, die Nord- und Westküste Islands, die Ost- und Westküste Grönlands, die Inselwelt der nordwestlichen Durchfahrt, die Küsten des Territoriums Alaska und von British-Columbia, die Westküste Patagoniens und die Westküste der Südinsel Neuseelands. Fjorde sind also nur den Steilküsten eigen; aber sowohl in Neuseeland als auch im Süden der Juan de Fuca-Strafse und im Norden von Chiloë bleiben die Küsten auch jenseits der Äquatorialgrenze der Fjorde noch steil, ein Beweis, dafs zum Küstencharakter sich auch noch bestimmte meteorologische Verhältnisse gesellen müssen, wenn jene Zerrüttung eintreten soll.

Jede Zeit hat sich mit wissenschaftlichen Lieblingsstreitfragen beschäftigt, die wie die Moden wechselten. Die Modeliebhaberei unserer Tage sind die Gletscher der Gegenwart und der Vorzeit. Für viele ist es nur eine Mode, für die Ernsteren ein reif werdendes Problem der modernen Geologie. Wenn wir aber bei den Fjorden zunächst an Gletscher- und Eiszeiten denken, so ist daran die Mode nicht schuld, sondern ihre räumliche Verteilung auf der Erdoberfläche.

Wirklich fehlen auch den Fjordbildungen nirgends die Eismassen; denn entweder sind sie noch gegenwärtig die Rinnsale von Gletschern, oder wir treffen Gletscher in ihrer Nähe, oder wo sie in der historischen Zeit fehlen, begegnen wir ihnen in der nächsten geologischen Vergangenheit. So ist Grönland ein vergletschertes Hochland, und seine Fjorde sind Gefäfse, durch die sich die Gletscher ergiefsen, deren Endstücke alljährlich abbrechen, um dann als Eisberge zunächst in der Baffins-See und in der Davisstrafse zu schwärmen und zuletzt ins Atlantische Meer hinabgetragen zu werden, wo sie, am westlichen Gestade des Golfstromes aufgehalten, in der Nähe der Neufundlandbänke zu-

[1]) Petermanns Mitteilungen 1879, Taf. II.

sammenschmelzen. Dieselbe Erscheinung haben wir in Norwegen, das, wie schon Wahlenberg erkannte, allein Gletscher erzeugt, während sie in dem an Niederschlägen armen Schweden fehlen. Die norwegischen Fjorde sind übrigens reich an Zeugnissen dafür, dafs die Gletscher hier ehemals gigantische Dimensionen besessen haben. So erwähnt Sexe Gletscherschliffe an den Felsufern des Sörfjordes in Hardanger, welche sich bis zu einer Höhe von 480 Metern über den Meeresspiegel erheben, und Keilhau sah im Aurlandsfjord (Seitenarm des Sognefjords) hoch oben an den Felsen Friktionsstreifen, welche ihn zu der Annahme führten, dafs ehemals der ganze Fjord von Gletschermassen erfüllt war. Ähnliche Beobachtungen liegen auch für andere skandinavische Fjorde vor[1]). Nun sind die dortigen Küsten seit jener Zeit allerdings mehr und mehr aus dem Schofse des Oceans emporgestiegen und mit ihnen zugleich jene Spuren einer ehemaligen Gletscherthätigkeit. Dennoch bleiben die genannten Zeichen Inschriften, die uns keinen Augenblick über die bedeutendere Gletscherbildung in früheren Perioden im Zweifel lassen. Ferner finden wir mächtige Gletscher auf Spitzbergen und Island. Wo sie aber heutigen Tages vermifst werden, wie in Schottland, hat man doch ihre ehemalige Anwesenheit in Felsenschliffen und Steinritzungen entdeckt. Sie fehlen nicht auf der Südinsel Neuseelands, an deren Westseite sich das untere Ende des Franz-Josef-Gletschers dem Meeresniveau bis zu einem Vertikalabstand von 230 Metern nähert, und sie reichen in der Magalhães-Strafse bis in das Meer hinab. Nach Darwin sind Missionäre an der Fjordküste des westlichen Patagonien Eisbergen selbst noch in der Laguna de S. Raphael lat. 46° 33′ S. begegnet. Ferner weisen die pacifischen Abhänge Nordamerikas am Mount Rainier im Territorium Washington und am Mount Hood in Oregon[2]) weit ausgedehnte Spuren ehemaliger Gletscherthätigkeit, sowie kleinere Gletscher auf; weiter im Norden kommen sogar ansehnliche Gletscher vor, und sie breiteten sich wohl einst über jenes ganze Küstengebiet und die davor liegenden Inseln aus[3]). Am Ostabhange der Felsengebirge treffen wir sowohl lebendige Gletscher, als auch Spuren einer früheren sogenannten Eiszeit samt grofsen Geröll- und Geschiebebildungen (drift formations). Die letzteren fehlen, wie Sir Charles Lyell erkannt hat, völlig unter den Tropen, daher sie wie die Fjorde unter die klimatischen Erscheinungen zu zählen sind, was auch von den Wanderblöcken gilt, die, wie Darwin bemerkt, auf der südlichen Halbkugel

[1]) A. Helland in Poggendorffs Annalen. Bd. CXLVI (1872), S. 540 ff.
[2]) Petermanns Mitteilungen 1871, S. 248—254.
[3]) Petermanns Mitteilungen 1881, S. 342 f.

den 41. Breitengrad nirgends überschreiten konnten. Sind die Fjorde aber die leeren Gehäuse ehemaliger Eisströme, so helfen sie uns eine Erscheinung erklären, die zu enträtseln bisher dem geologischen Scharfsinn nicht völlig gelang.

Durch unsere Vergleiche sind wir bis jetzt zu der Erkenntnis gelangt, dafs die Fjorde und fjordähnlichen Küsteneinschnitte nur höheren Breiten angehören. Es liegt demnach sehr nahe, die Zertrümmerung der hohen, felsigen Gestade in erster Linie auf die zerstörenden Einflüsse des gefrierenden Wassers zurückzuführen und, da auf dem Schauplatz der Fjorde entweder noch heutigen Tages Gletscher sich bewegen oder wenigstens in früheren Zeiträumen sich bewegt haben, die engen Spalten als Ausfeilungen von Gletschern zu betrachten. Namentlich sind es Ramsay, Tyndall und Helland, welche diese Anschauung vertreten.

Ramsay geht davon aus, dafs man die Bildung der meisten Seebecken (insbesondere die der Alpen) auf keinem Wege besser erklären könne als durch die Annahme, dafs einst Gletscher über sie hinweggzogen und sie ausfurchten. So wurde der Genfer See nach Ramsay durch den Druck des mächtigen Rhônegletschers ausgehöhlt; ebenso entstanden der Neuenburger und der Bieler See, sowie der Comer See. In der grofsen Tiefe dieser Seen erblickt er einen Ausdruck für die Länge der Zeit und die Gröfse der senkrecht wirkenden, zermalmenden Kraft und findet seine Theorie durch die Thatsache bestätigt, dafs ein überraschender Seenreichtum alle diejenigen Länder auszeichnet, welche Spuren einer ehemals weit ausgedehnten Gletscherbedeckung an sich tragen, z. B. Norwegen, Schweden, Finnland, Schottland, die Schweiz, sowie die nördlichen Teile von Nordamerika. Demgemäfs sind ihm auch die Fjorde Thäler, welche zwar von Anfang an gegeben waren, aber durch die thalabwärts schreitenden Gletscher aufserordentlich vertieft worden sind.

Noch gröfsere Erfolge schreibt Tyndall der Gletscherthätigkeit zu. Nach der Lehre Tyndalls schleift der Gletscher das Gestein nicht blofs ab, sondern vermag auch, da die Felsen keine fest geschlossene homogene Masse sind, sondern vielfach von Rissen durchsetzt werden, gröfsere Stücke abzulösen, sie förmlich zu entwurzeln. Die Anhänger dieser Hypothese weisen auf die enormen Schuttmassen hin, welche Gletscher und Gletscherbäche thalabwärts bewegen; die scharfkantige Form der Fragmente nötigt ja zu der Annahme, dafs sie durch die Kraft des gefrierenden Wassers vom Fels losgesprengt sind. Nach L. F. Kämtz' Berechnung würde man aus den über Finnland und Esthland verstreuten Gesteinstrümmern dem skandinavischen Hochland ein Gebirgsstück von 325 Meter Höhe auflegen können, selbst

unter der Bedingung, dafs nur die Hälfte jener erratischen Blöcke aus Schweden und Norwegen stammt[1]).

Es gilt nun zu prüfen, in wieweit die Ramsaysche und Tyndallsche Anschauung über die Entstehung der Fjorde mit den sonst beobachteten Thatsachen übereinstimmt oder nicht.

Eine beschränkte Erosionswirkung der Gletscher wird wohl niemand leugnen wollen; sie erhält in den Friktionsstreifen einen zu unzweideutigen Ausdruck, als dafs man sie bezweifeln könnte. Auf der anderen Seite aber regen sich sofort mannigfache Bedenken gegen die thalbildende Kraft der Eisströme. Zunächst sind unter einer Eisdecke alle diejenigen Faktoren aufserordentlich geschwächt, welche bei dem Verwitterungsprozefs in erster Linie von Bedeutung sind: nämlich Temperaturwechsel mit folgendem Wechsel von Ausdehnung und Zusammenziehung besonders durch zeitweilige Eisbildung, Oxydation mit Volumenveränderung und Lockerung des Gefüges, Auslaugung durch Wasser und Kohlensäure, Einwirkung der Vegetation[2]); es kann also nur die mechanische Arbeit des sich fortbewegenden Gletschereises hierbei in Betracht kommen. Nun haben aber schweizerische und italienische Geologen, welche bei Gelegenheit der Zusammenkunft der helvetischen Naturforscher-Gesellschaft im Jahre 1863 von Samaden (Engadin) aus einen Ausflug nach dem benachbarten Morteratsch-Gletscher unternahmen, klar erkannt, dafs ein Gletscher nicht blofs über festen Fels, sondern sogar über lose Geröllschichten hinwegschreitet, ohne in diese einzuschneiden; vielmehr planiert und nivelliert er dieselben nur. Der Gletscher verrichtet also nicht die Dienste eines Pfluges, sondern die einer riesigen Chausseewalze und schafft so jene flachen Thalgründe, welche man in der Schweiz häufig „Boden“ nennt[3]). Auch weifs man von einer beträchtlichen Anzahl anderer grofser Gletscher, die in den letzten Jahrzehnten oft über 300 Meter weit zurückgegangen sind, dafs ihre Enden auf unverletztem, altem Geschiebegrund ruhen. Demnach dürften selbst sehr weiche Schichten nur in seltenen Fällen durch Gletscherschub gefaltet worden sein[4]).

Der bedeutende Gletscherkenner E. Whymper, der kühne Be-

[1]) Mitteilungen der K. K. geogr. Gesellschaft in Wien. Band II (1858), S. 242.

[2]) Alex. Müller: „Über Thalbildung durch Gletscher“ in Poggendorffs Annalen. Bd. CLII (1874), S. 480.

[3]) Th. Kjerulf, Die Eiszeit (Heft 293 und 294 aus der Sammlung wissenschaftl. Vortr., herausgeg. von Virchow und v. Holtzendorff). Berlin 1878. S. 63 f.

[4]) Hermann Credner sucht dies für verschiedene Punkte nachzuweisen in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXXII (1880), S. 75–110.

steiger des Matterhorns, fand im Aostathale, das ehemals von einem mächtigen Gletscher erfüllt war, in Verbindung mit den schönsten Gletscherschliffen zahlreiche kleine, scharfkantige Flächen, welche unzweifelhaft der Leeseite der kleinen Beulen und Höcker angehörten, über die sich der Gletscher einst seinen Weg bahnte. Allem Anschein nach sind sie vom Eise nie oder doch so zart berührt worden, dafs sich die Spuren später verwischt haben [1]). Hieraus aber ergiebt sich unmittelbar, dafs die Gletscher nichts zur Vertiefung des Thales beigetragen haben.

Wie gering die aushöhlende Kraft eines Gletschers ist, geht ferner daraus hervor, dafs sich sowohl in Thälern wie in grofsen Seen oft mitten im Hauptwege eines früheren Gletschers inselförmige Felspartien behauptet haben. Es sei hier nur an die Bergmasse bei Montalto im Aostathale erinnert, sowie an die Höhen, auf denen die Schlösser von Sion stehen. Diese halsstarrigen Klippen waren einst der vollen Gewalt der Gletscher ausgesetzt; sie trotzten derselben nicht nur mit Erfolg, sondern zwangen auch die Eisströme sich zu spalten, worauf diese neben oder über ihnen weiterflossen. Ebenso wenig vermochte nach den Beobachtungen Eduard Richters der Obersulzbach-Gletscher (am Grofs-Venediger) die zahlreichen Hügel und Klippen zu beseitigen, welche mitten aus seinem unteren, jetzt von ihm verlassenen Bette aufragen [2]).

Ferner hat das Eis selbst an Tausenden von Stellen Zeichen in den Stein gegraben, welche dem denkenden Beobachter das unzweideutigste Zeugnis liefern, dafs die erodierende Kraft des Eises eine äufserst geringe ist. An der Oberfläche der Gebirge trifft man nämlich vielfach an einer und derselben Stelle mehrere Gruppen oder Systeme von Scheuerstreifen, welche einen gröfseren oder kleineren Winkel mit einander bilden; ihnen entsprechend sind natürlich auch Steine und Blöcke verschleppt; in beiden Richtungen verlaufen Thal und Einschnitt. Da eine solche Durchkreuzung der Streifen von zahlreichen Forschern in den verschiedensten Gegenden Nord- und Mitteleuropas, sowie Nordamerikas erkannt worden ist und da man ferner an solchen Stellen diese Scheuerstreifen in jeder Art von Lage trifft, sowohl hoch wie tief, sowohl da, wo ein Maximum, als auch da, wo ein Minimum der Kraftwirkung angenommen werden kann, so dürfte es wohl kaum zweifelhaft sein, dafs hier die Eisbewegung zu verschiedenen Zeiten eine verschiedene Richtung eingeschlagen hat. Auch

[1]) Edward Whymper, Berg- und Gletscherfahrten in den Alpen. Braunschweig 1872. S. 391 ff.

[2]) Zeitschrift des deutschen und österreichischen Alpenvereins 1883, S. 82 ff.

ist man nicht berechtigt zu sagen, dafs die jüngere Eisströmung nur von sehr kurzer Dauer war; denn in der Gegend von Galway, bei Killary Harbour in Irland, lassen sich, wie Kinnahan[1]) zeigt, die zwei Systeme auf einer Breitenerstreckung von 1 engl. Meile ungefähr 1½ engl. Meilen und an der Cashla-Bucht bei 2 engl. Meilen Breite etwa 3 engl. Meilen weit verfolgen. Eine so weit ausgedehnte Gletscherentwicklung, welche so reiche Spuren hinterliefs, ist sicher keine rasch vorübergehende gewesen. Wenn sie trotzdem nicht im stande war, die Züge der ersten Gletscherbewegung zu verlöschen, so ergiebt sich hieraus, dafs die aushöhlende Kraft der Gletscher nicht von derjenigen Bedeutung ist, welche man ihr von anderer Seite mit Vorliebe zuschreibt[2]).

Übrigens erzeugt der Gletscher selbst auf seinem Bette eine Schicht, welche dieses gegen die erodierende Kraft des Gletschers schützt. Das Geröll nämlich, mit welchem sein Rücken belastet ist, fällt durch die zahlreichen Spalten auf den Grund hinab und keilt sich so zwischen dem Eise und dem Felsbett ein. Noch mehr Moränenstoffe stürzen jedoch über das vordere Ende des Eisstromes hinweg und bilden so eine Schicht, über welche das Eis seinen Weg nehmen mufs. Bevor diese vom Gletscher selbst geschaffene Schicht nicht von ihm wieder zermalmt ist, erleidet das Felsenbett desselben keinerlei Angriffe. Der mächtige Gletscher des Aostathales vermochte, wie uns Whymper berichtet, nicht einmal losen, auf der Oberfläche des Bettes liegenden Flufskies zu entfernen; noch viel weniger konnte er natürlich den unten anstehenden soliden Fels ausfurchen, zumal der Gletscher ununterbrochen auf dem Kiese noch eine neue Geröllschicht ablagerte, welche ebenfalls zum Schutze seiner felsigen Grundlage diente[3]).

Am allerwenigsten können wir Tyndall beistimmen, wenn er behauptet, dafs die alten Gletscher vermöge ihrer Gröfse und des ungeheuren Druckes, welchen sie auf ihre Grundfläche ausübten, im stande waren, Felsen in Massen zu „entwurzeln“. Wäre dies richtig, so würden sicher eckige, scharfkantige Bruchflächen in allen denjenigen Thälern Zeugnis hierfür ablegen, welche ehemals die Wirkungsstätte grofser Gletscher waren. Nun beobachten wir aber gerade das Gegenteil, dafs nämlich die Felsen, über welche die Gletscher einst hinweggezogen, abgeschliffen, in ihren Umrissen ganz monoton und nahezu von allen Ecken frei sind. Hiermit fällt aber Tyndalls Annahme. In

[1]) Kinnahan, The general Glaciation of Jar-Connaught. Dublin 1872.
[2]) Th. Kjerulf, l. c. S. 74 ff.
[3]) E. Whymper, l. c. S. 415.

Hinsicht auf die Physiognomie der durch Gletscher ausgefurchten Thäler bemerkt darum Whymper mit Recht: „Wenn die Gletscher die Felsen einfach abkratzen und diese Thätigkeit eine lange Zeit fortsetzen, so ist es keine Vermutung, sondern eine mathematische Gewifsheit, dafs sie Vertiefungen oder Einsenkungen hervorbringen müssen[1]). Denkt man an eine Ewigkeit, so können Gletscher sogar Thäler einer besonderen Art ausschleifen. Diese würden aber mit den Alpenthälern (und ebenso mit den Fjorden und den Thälern an ihrem oberen Ende) gar keine Ähnlichkeit haben. Sie wären vielleicht interessant, aber abscheulich prosaisch. Die Nägelschuhe der Bergsteiger wären in ihnen nutzlos; in Filzstiefeln oder auf Schlittschuhen müfste man sie bereisen“[2]).

Die Anhänger der Ausfurchungstheorie weisen zur Begründung derselben auf die Schuttmassen hin, welche die Gletscher abwärts führen; doch gehen sie sicher zu weit, wenn sie deren Entstehung auch nur zum gröfsten Teil dem Kratzen und Auspflügen des Gletschers selbst zuschreiben. Die fast durchgängig eckige Gestalt der Stoffe, aus welchen die alten wie die neueren Moränen gebildet sind, ist ein sicherer Beleg dafür, dafs dieselben zum gröfsten Teil von oben her auf die Gletscher gefallen und nicht auf der Sohle derselben weiter bewegt worden sind. Wäre dies geschehen, so würde ihre Form abgerundet, ihre Oberfläche gekritzelt worden sein, wie dies von allen denjenigen Gesteinsstücken gilt, welche auf dem Grunde des Gletschers liegen.

Die ansehnlichen Tiefen der Fjorde, deren unterseeische Grundfläche häufig bis 100 Meter, an der Westküste Skandinaviens in einem Falle sogar 346 Meter unter den Meeresspiegel hinab sinkt, bereiten den Anhängern der Erosionstheorie scheinbar keine Schwierigkeiten; sie helfen sich hier mit der Annahme: die Gletscher können auch unter dem Meere scheuern, wenn sie mächtig genug sind. Da sich nun das Gewicht des Eises zu dem des Seewassers wie 8 zu 9 verhält, so ist bei Berechnung des Druckes eines in einen Fjord sich ergiefsenden Eisstromes nicht blofs die unter dem Meeresniveau liegende Eismasse, sondern auch ein Teil der über dasselbe aufragenden Masse in Abzug zu bringen. Welche Mächtigkeit man nun den alten Gletschern beimessen müfste, um ihnen einen zermalmenden Druck zuerkennen zu können, zeigt folgende von dem Bergingenieur Gurlt ausgeführte Berechnung. Eine 650 Meter dicke Eisschicht übt auf

[1]) Vgl. hierzu auch Hayes, The open Polar Sea. London 1867. p. 403. Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. 1875. Vol. I, p. 370.

[2]) E. Whymper, l. c. S. 401 f.

ihre Unterlage einen gleichen Druck aus wie eine Wassersäule von ca. 585 Meter Höhe (= 55 Atmosphären), d. h. einen Druck von 825 Pfund auf den Quadratzoll. Nun ergiebt sich aber aus einer gewöhnlichen Ingenieur-Tabelle, daſs einfacher Ziegelstein 1200 bis 2000 und die gewöhnlichsten Felsarten viel mehr, nämlich Granit 6000 bis 9000, Basalt 20000, Kalkstein 4000 bis 6000, Sandstein 3000 bis 12000 Pfund auf den Quadratzoll aushalten können. Um die Zertrümmerung einer granitischen Grundfläche zu erklären, müſste man demnach Gletschermassen voraussetzen, welche sich nahezu in Montblanchöhen über einander auftürmten.

In der That haben die Neu-Glacialisten sich nicht gescheut, derartige Höhen für einzelne Gletscher zu fordern, wie denn Agassiz im Jahre 1867 die Behauptung aussprach, daſs in Maine der Eismantel gegen 4000 Meter dick gewesen sein müsse. Über diese phantastischen Zahlenwerte hat Mallet treffend geäuſsert, die Mächtigkeit und das Gewicht des Eises könne jedenfalls nur so groſs gewesen sein, daſs letzteres sich nicht selbst zertrümmerte oder durch den Druck in Wasser überging. Mit jenen ungeheuren Werten aber ist diese Grenze wahrscheinlich längst überschritten [1]).

Endlich läſst uns auch eine schärfere Untersuchung der Fjorde auf einer guten Specialkarte gewahren, daſs sie Merkmale an sich tragen, welche einen Ursprung durch Erosion ausschlieſsen. Bei den grönländischen Fjorden nämlich, sowie auch bei verschiedenen skandinavischen und neuseeländischen bemerken wir die Neigung, sich gabelförmig zu teilen, gleichsam ein Delta oder ein λ zu bilden, während doch alle Fluſsthäler mit auſserordentlich seltenen und dann nicht regelrechten Ausnahmen immer, wo sie sich vereinigen, ein Y bilden. Der Gedanke an eine Ausfeilung durch Gletscher wäre daher noch zulässig bei dem Lysefjord (s. Fig. 74 auf S. 517), nicht aber bei Fjorden, wie wir sie an der Westseite von Grönland unmittelbar südlich vom 67. und 70. Parallelkreis (vgl. Fig. 69 auf S. 496) finden, wie überhaupt bei allen jenen Küsteneinschnitten, deren Ausmündung durch eine dreieckige Insel gefüllt ist. Solche Gestalten lehren uns vielmehr selbst, daſs die Zertrümmerung und Zersplitterung der Küste mit ihrem Aufsteigen verknüpft war.

Wo immer Land gehoben wird, sei es durch eine emporwachsende Gebirgskette, sei es längs einer aufsteigenden Steilküste, die ihre Schichtenköpfe dem Meere zukehrt: stets werden die ursprünglich wagerechten Schichten des Aufsteigenden gebogen werden müssen. Sowie die Spannung nur ein sehr geringes Maſs überschreitet, müssen

[1]) Th. Kjerulf, l. c. S. 65.

Querrisse in den Schichten entstehen, und die Geologie spricht dann von aufgesprengten Gewölben (s. Fig. 73). Hierdurch erklären sich auch die gemeinsamen Züge der Fjordbildungen, namentlich der wunderbare Parallelismus, den sie oft innerhalb weiter Gebiete streng innehalten. Überaus eindrucksvoll tritt uns dieser Parallelismus auf einer von Th. Kjerulf entworfenen Karte des südlichen Norwegen[1]) entgegen, auf welcher die mächtigen Sprünge und Brüche, welche die norwegische Felsenmasse durchziehen, durch einfache Linien dargestellt sind. Dieselben ordnen sich zu so deutlich ausgesprochenen, nordöstlich, östlich, südöstlich und südlich streichenden Liniensystemen, dafs man ein höchst merkwürdiges Spiel des Zufalls annehmen müfste, wenn man diese Bruchlinien der Erosion zuschreiben wollte. Wenn Helland zur Stütze der Erosionstheorie geltend macht, dafs kein Thal oder Fjord quer durch das Langfjeld oder durch das Dovrefjeld hindurchsetzt, sondern von hier aus nur viele Thäler nach Osten, viele Thäler und Fjorde nach Westen gehen[2]), so möchten wir hiergegen einwenden, dafs bereits Leop. v. Buch in dem Lesjö-Thale (Lesjö

Fig. 73.



Ideale Frontansicht einer Steilküste, die ihre Schichtenköpfe dem Meere zukehrt, mit Rissen in dem aufgesprengten Gewölbebau der Schichten.

liegt 2 Meilen nordwestlich von Dovre) einen tiefen Spalt erkannte, welcher ein Stück Skandinavien quer abbricht, so dafs auf der Stromscheide dieses Thales aus einem Weiher, dem Lessöevärks Vand (etwas über 700 Meter hoch), die Wasser sowohl nach Süden, wie nach Norden abfliefsen[3]). Dies ist aber keineswegs die einzige derartige Thalverbindung; vielmehr zeigen gute Specialkarten zahlreiche Thalklüfte auf der Höhe des Gebirges, aus denen die Flüsse gleichzeitig nach beiden Meeren ihren Weg nehmen. Übrigens legen wir auf diese Thatsache, so hohes Interesse sie auch beansprucht, hier nicht allzugrofses Gewicht, da mit dem Bruche der Ränder nicht auch ein genau damit übereinstimmendes Brechen der centralen Partien eines so umfangreichen Felsenkörpers gefordert werden kann. Wo Fjorde auf

[1]) Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. XIV (1879), Tafel IV, B.

[2]) Poggendorffs Annalen. Bd. CXLVI (1872), S. 548 f.

[3]) Leopold v. Buch, Reise durch Norwegen und Lappland. Berlin 1810. Bd. I, S. 195 f.

isolierten, kleineren Länderräumen auftreten, sind übrigens geradlinige Durchbrüche von einem Ufer zum anderen, sogenannte Fjordstrafsen, ziemlich häufig, so auf Schottland (der Caledonische Kanal), den Hebriden, den Shetland-Inseln und Färöern.

Ursprünglich war die Zerspaltung nichts weiter als ein Aufsprengen der Schichten, die infolge der Hebung sich wölbten; sie mochte sich aber später erweitern durch ein Zusammenschrumpfen infolge einer Massenverminderung, die nicht ausbleiben kann, wenn die Felsarten krystallinisch werden.

Welche Bedeutung haben nun die Gletscher für die Fjorde? Bei ihrer Entstehung haben sie, wie wir oben sahen, jedenfalls in keiner Weise mitgewirkt; doch gebührt ihnen das Verdienst, jene herrlichen Wasserstrafsen vor einer frühen Vernichtung gerettet zu haben. Wurden nämlich zur Zeit der Fjordbildung die Spalten rasch ausgefüllt mit Gletschern, so haben diese zu ihrer Erhaltung beigetragen, indem sie das Ausfüllen der Sunde durch Verwitterungsschutt, sowie die sanftere Böschung der Felswände verzögerten. Mit Recht hat daher Élisée Reclus[1]) in der klimatischen Verbreitung der Fjorde das Zeugnis einer vormaligen, jetzt im Rückzug begriffenen Eiszeit erblickt. Die Fjorde fehlen daher in wärmeren Ländern nur deswegen, weil sie dort, kaum entstanden, rasch wieder durch Trümmer verschüttet wurden. Nun erkennen wir auch, warum an den Westküsten Skandinaviens, Schottlands und Irlands die Fjorde in überaus grofser Anzahl vorkommen, während sie an den Ostküsten dieser Länder völlig vermifst werden. An den regenreicheren Westküsten war die Gletscherentwicklung stets in hohem Grade begünstigt; hier wurden daher die alten Küsteneinschnitte viel länger mit Eis erfüllt. An den relativ regenarmen Ostküsten hingegen erlangten die Gletscher niemals eine so hohe Wichtigkeit und wurden viel früher verscheucht; darum gelang es hier den Flüssen weit eher, die alten Spalten auszuschütten. Ähnliche Gründe müssen wir annehmen, um die Fjordlosigkeit an der Süd- und Südostseite Islands zu erklären. Zwar erheben sich auch hier hohe, mit ewigem Schnee gekrönte und mit Gletschern ausgestattete Gebirge; doch breiten sich vor ihnen niedere, flache, meist aus Sandmassen bestehende Strecken aus; hier schritt also der Aufschüttungsprozefs — vielleicht unterstützt durch das Vorhandensein reicher Mengen von losem vulkanischen Schutt — am raschesten vorwärts. Für Island hat übrigens Kjerulf nachgewiesen[2]), dafs die wichtigsten in

[1]) La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 173 sq.

[2]) Islands Vulkanlinien in der Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXVIII (1876), S. 203—216.

den Fjordrichtungen hervortretenden Linien mit den großen Systemen ausgefüllter Gangspalten zusammenfallen; die Hauptrichtungen beider sind nämlich N—S, WNW—OSO, NO—SW. Offenbar haben hier mächtige Kräfte auf langen Spalten gewirkt.

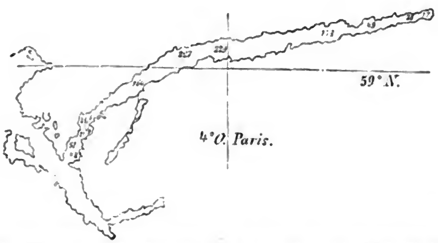
Überall, wo sich die Gletscher aus den Fjorden zurückgezogen haben, arbeiten die Flüsse unausgesetzt an der Fjordausfüllung und Küstenabrundung. Der Erfolg, mit welchem sie diese Thätigkeit betreiben, hängt vor allem von der Gröſse und Tiefe der Fjorde, sowie von der Menge der schwebenden Bestandteile ab, welche die Flüsse mit herabbringen. Liegen, wie dies in Norwegen so häufig der Fall ist, kleine Seen am oberen Ende der Fjorde, durch welche die Flüsse ihren Weg nehmen, bevor sie sich in die Fjorde ergieſsen, so sind die letzteren in vorzüglicher Weise so lange gegen ihre Ausfüllung geschützt, als jene Seen existieren, da diese stets Läuterungsbecken für die Flüsse sind. Doch ist auch in vielen norwegischen Fjorden bereits ein Wachstum des Schwemmlandes am Binnenende der Fjorde zu bemerken; würde man den jährlichen Zuwachs der Strandfläche kennen, so wäre es möglich, die Zeit annähernd festzustellen, innerhalb welcher dieser oder jener Fjord gänzlich ausgefüllt werden müſste. An anderen Stellen beobachten wir übrigens (namentlich gilt dies von einigen Fjorden an der Südostseite von Island), daſs sich Fjorde ebensowohl durch Fluſsanschwemmungen an ihrem oberen, wie durch Meeresanschwemmungen an ihrem unteren Teile verengen [1]). Dieser Umstand aber führt uns auf die eigentümlichen Tiefenverhältnisse der Fjorde.

Es ist eine höchst merkwürdige Erscheinung, daſs die Fjorde an ihrem Ausgang seichter sind als im Hintergrunde. Der so früh verstorbene Otto Lübbert hat uns aufmerksam gemacht, daſs die norwegischen Fjorde im Hintergrunde tiefer zu sein pflegen als an ihrer Mündung, daſs sich also nach ihrem Ausgange zu der Boden hebt, während man häufig wieder zwischen den Fjorden und den auſsen liegenden Inseln auf gröſsere Tiefen stöſst. Dies ist später von Helland [2]) und Mohn [3]) voll und ganz bestätigt worden; letzterer bezeichnet die Fjorde sogar als vom Ocean abgesperrte tiefe Bassins. Daſs sich in der That der Boden nach ihrem Ausgange zu hebt, bezeugen uns alle Tiefenkarten norwegischer Ufergebiete; besonders schön gewahren wir dies an dem Lysefjord, dem schärfsten, tiefsten und regelmäſsigsten Einschnitt der norwegischen Küste (s. Fig. 74). Aber auch anderwärts beobachten wir ein Gleiches.

[1]) Élisée Reclus, La Terre. Paris 1869. Tome II, p. 179 und Fig. 53.
[2]) Poggendorffs Annalen. Bd. CXLVI (1872), S. 544. 557 f.
[3]) Petermanns Mitteilungen 1876, S. 437.

Der ostgrönländische Franz-Josef-Fjord, der an seiner Schwelle ebenfalls relativ seicht ist, erreicht im Innern sogar eine Tiefe von über 500 Faden [1]). Der Fiskefjord an der Westküste Grönlands (unter dem 63. Grad n. Br.), gegen seinen Ausgang nur 45 Faden tief, gewinnt weiter landeinwärts eine Tiefe von 172 Faden [2]). Ferner sind die Fjorde von Maine, obwohl einem seichteren Meeresteile angehörig, doch vielfach in der Mitte tiefer als an der Mündung, so besonders der Somes-Sund, dessen Tiefe landeinwärts von 5 auf $25^1/_2$ Faden wächst. Innerhalb des Königin-Charlotten-Archipels (an der Westküste von Nordamerika) steigt die Tiefe im Masset-Sund von 3 Faden an dem schmalen, röhrenförmigen Eingange landeinwärts sofort auf 10 Faden, im Virago-Sund in gleichem Sinne von 3 auf 12 Faden [3]), und ebenso sind die engen Fjorde von British-Columbia und Vancouver durchgängig tiefer als die breiteren Meeresteile, welche sich vor ihnen aus-

Fig. 74.



Der Lysefjord in Norwegen, nach Lieutenant **Schie** in **Petermanns** Ergänzungsheften Nr. 1. Die Tiefen sind angegeben in norwegischen Faden (1 norwegischer Faden = 1,77 Meter).

breiten [4]). An den Küsten des Feuerlandes beim Eingang in den Christtag-Sund fand Kapitän **Cook** Grund schon bei 37 Faden, tiefer in der Strafse erst bei 64 Faden und zuletzt gar keinen mit 160 Faden, und in Übereinstimmung hiermit haben die sorgfältigen Untersuchungen des Kapitän **Nares** vom November 1878 bis April 1880 zu dem Resultate geführt, dafs der Trinidad-Kanal Patagoniens (unter 50° s. Br.), sowie die übrigen Buchten und Kanäle der westpatagonischen Küste an der Ausmündung seicht, kaum 40 Faden tief sind,

[1]) Die zweite deutsche Nordpolarfahrt in den Jahren 1869 und 1870. Leipzig 1874. Bd. I, Abt. 2, S. 664.

[2]) **Petermanns** Mitteilungen 1880, S. 98.

[3]) l. c. 1881, Tafel XVI.

[4]) Vgl. hierzu die schöne Karte in **Petermanns** Mitteilungen 1869, Tafel I.

während sie in ihren inneren Teilen eine Tiefe von mehr als 300 Faden erreichen[1]). Sogar in den Fjorden der Binnenseen wiederholt sich ähnliches, so in dem Manitoulin-Sund (Huron-See), in der Doppelbucht der Grand Traverse-Bai (Michigan-See) und in den Fjorden am Nordostende des Ontario-Sees[2]). Offenbar waltet in den Tiefenverhältnissen der Fjorde ein bestimmtes Gesetz; von einer blofs „zufälligen Eigenschaft der Fjorde", wie sich Ratzel[3]) über diesen Gegenstand äufsert, kann hier gewifs nicht die Rede sein.

Helland erläutert diese Erscheinung vom Standpunkte der glacialen Bildung der Fjorde in folgender Weise[4]): Die Zuflüsse der Gletscher von den Gebirgen nehmen gegen den Ausgang der Fjorde hin ab; das Wasser hat grofse Mengen von Eis verzehrt; mithin verringerte sich hier auch früher die Mächtigkeit und somit die erodierende Kraft der Gletscher. Ferner scheinen die quer über verschiedene Fjorde (den Sogne-, Christiania-, Drammensfjord u. a.) sich erstreckenden Moränen darauf hinzuweisen, dafs der innere Teil der Fjorde während einer längeren Zeit von den Gletschern gescheuert worden ist. Wir bemerken hiergegen nur, dafs in einer trogförmigen Einsenkung, wie sie nach Helland durch die Gletscher geschaffen worden sein soll, in der Tiefe gar bald Unbeweglichkeit eintreten mufs, worauf der obere, noch bewegliche Teil des Gletschers über den unteren, ruhenden hinwegschreitet, somit den Grund nicht weiter erodieren kann, da er ihn gar nicht berührt. Kleine Tiefendifferenzen liefsen sich auf diese Weise allenfalls noch erklären, niemals aber so grofse, wie sie thatsächlich beobachtet werden. Übrigens steht und fällt ja diese Anschauung mit der Glacialtheorie.

Reclus vermutet, dafs das Seichterwerden an den Ausgängen von dem Schutte alter Endmoränen herrühre. Hie und da mag dieses Moment mit in Betracht kommen; doch müfsten wir es als ein seltenes Spiel des Zufalls ansehen, wenn die Gletscher immer gerade bis dahin gereicht hätten, wo die Fjorde endigen. Gelangten aber die Gletscher dorthin, so wurde die Eiszunge wohl meist von den Fluten des Meeres abgebrochen und weit hinweggeführt; mithin konnte in solchem Falle nur wenig Gletscherschutt an der Ausgangspforte der Fjorde zu Boden sinken. Übrigens wissen wir von mehreren Fjorden, dafs sich die Gletscher, von denen sie ehemals erfüllt waren, allmählich zurückzogen; zum Zeichen hierfür hinterliefsen sie da, wo ihr

[1]) Petermanns Mitteilungen 1882, S. 49 f.
[2]) l. c. 1880, S. 391. 392. 393.
[3]) l. c. 1880, S. 394.
[4]) Poggendorffs Annalen. Bd. CXLVI (1872), S. 557.

unteres Ende längere Zeit rastete, Endmoränen; wir finden diese demnach auch, wie bereits oben erwähnt, mitten in den Fjorden. So erscheint uns das äufsere Ende der Fjorde nicht mehr für die Ansammlung von Moränenmaterial begünstigt als jeder Punkt innerhalb derselben.

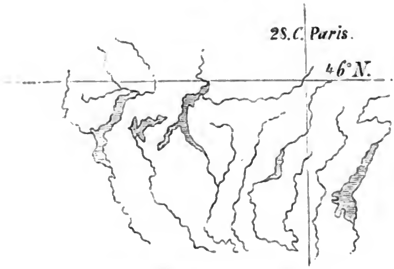
Wir halten die unterseeischen Wälle am Eingang der Fjorde für ein Werk der unablässig arbeitenden Meereswogen. Schlagen dieselben an die Felswände, welche sich gleich zwei Säulen zu beiden Seiten der Bucht erheben, so werden sie zum Teil in das ruhige Wasser derselben geworfen. Hier tritt sofort eine Verzögerung der Wasserbewegung ein; augenblicklich vermindert sich die Transportfähigkeit der Wogen, und sie lassen infolge dessen viele der schwebenden Bestandteile fallen, welche sie aufserhalb des Fjordes fortzutragen vermochten. Wären die Felsmassen an der Westküste Skandinaviens leichter zerstörbar, so würde das Meer weit mehr getrübt sein durch Erosionsmaterial, und vielleicht würden wir schon an vielen Stellen statt der Fjorde geschlossenen Seebecken von ansehnlicher Tiefe begegnen, wie hie und da an der Ostseite Islands.

Dies führt uns auf einen scheinbar nicht hierher gehörigen und doch nahe verwandten Gegenstand: auf die Entstehung der engen Gebirgsseen und namentlich der italienischen. Eine frühere Gegenwart von Gletschern liefs sich bei ihnen mit Leichtigkeit nachweisen; doch können wir diesen durchaus keine gröfsere Wirkung beimessen als bei der Bildung der Fjorde. In Schwierigkeiten sah man sich insbesondere verwickelt, sobald man zur Betrachtung der plastischen Verhältnisse der Seebecken überging. Der Boden einiger dieser Seen reicht noch unter den heutigen Meeresspiegel hinab, und, was das Ärgerlichste war, die gröfsten Tiefen fanden sich in der Mitte, während an der Ausmündung der Thäler nach der Ebene der Boden aufstieg. Zuerst dachte man sich die Seebecken von den Gletschern „ausgepflügt“, und man ersann mechanisch unmögliche Lehren, indem man annahm, dafs sich Gletscher auch an Abhängen hinaufbewegen könnten. Ramsay meinte, dafs das Eis am Ende des Gletschers dünner wurde und daher eine geringere nagende Kraft ausübte als da, wo es dicker war. Doch dürfen wir hier ebenso wenig an eine Ausfeilung durch Gletscher denken wie bei den Fjorden, da auch hier λ-förmige Gabelungen vorkommen (vgl. den Comer See, Fig. 75), deren Entstehung unmöglich der Erosion zugeschrieben werden kann.

Sir Charles Lyell, der eine Ausfurchung dieser Seen durch Gletscher verwarf, dachte sich die Seebecken als Klüfte, die gleichzeitig mit der Erhebung der Alpen sich geöffnet hätten, dann, während der Eiszeit mit Gletschermassen ausgefüllt, vor der Verschüttung durch

Erosionstrümmer bewahrt worden und zuletzt zu Seen aufgetaut seien. Oder, fügte er schwankend hinzu, man könne auch annehmen, dafs die Centralkette der Alpen ursprünglich höher aufgestiegen sei, so dafs die heutigen Seen damals Gletscherbetten gewesen wären, die nach der Ebene zu das nötige Gefäll für die Bewegung der Eismassen besessen hätten, dafs dann eine Senkung eingetreten wäre, welche am stärksten längs der Centralachse, schwach oder gar nicht am Aufsenrande der Gebirge sich fühlbar gemacht hätte, so dafs also der Boden der Seen in der Nähe der Po-Ebene nicht, wohl aber merklich in der Mitte und am stärksten an ihrem Gebirgsende gesunken wäre. Eine solche Bewegung der Alpenkette müfste doch sichtbare Spuren hinterlassen haben, an denen sie noch heutigen Tages erkannt werden könnte; aber Sir Charles Lyell hat nie versucht, den Beweis für seine Vermutungen anzutreten.

Fig. 75.



Die Gebirgsseen in Oberitalien.

Die Schwierigkeiten schwinden, wenn man die italienischen Seen als die Fjorde eines ehemaligen lombardischen Meeres betrachtet (s. Fig. 75), wozu wir insofern berechtigt sind, als ihr Boden noch an etlichen Stellen tiefer liegt als der Spiegel des Adriatischen Meeres. Diese Annahme scheint auch dadurch bestätigt zu werden, dafs man im Garda- und Langensee einige Meerfischarten gefunden hat, die freilich auch in mehreren Kraterseen des Albanergebirges, also in echten Binnenseen beobachtet worden sind.

Die genannten südalpinen Seen erinnern lebhaft an einige norwegische Seen, welche ebenfalls langgestreckte Thalgebiete erfüllen und bei ansehnlicher Höhe über dem Meeresspiegel doch mit ihrem Grunde

tief unter das Niveau des Meeres hinabreichen. Insbesondere gilt dies von den folgenden [1]):

	Gröfste Tiefe	Meereshöhe des Spiegels	Gröfste Tiefe unter der Meeresfläche
Mjösen	452 Meter	121 Meter	331 Meter
Storsjöen in Rendalen	301 „	257 „	44 „
Tyrifjord	281 „	63 „	218 „

Sie sind ebenfalls durch junges Schwemmland, nämlich durch Schichten aus jüngerem Mergel- und Sandlehm, von dem Meere getrennt. Auch ist für den Mjösen eine kleine, ursprünglich marine Fauna nachgewiesen [2]).

Um zu zeigen, dafs sich in der That auch gegenwärtig noch aus Fjorden Seen bilden, weisen wir auf den Drammensfjord im südlichen Norwegen hin, der ein Mittelding ist zwischen einem Fjord und einem Alpensee. Sein Wasser ist brackig; er ist nur durch einen seichten, zur Verschlammung geneigten Kanal mit dem Meere verbunden und enthält nach G. O. Sars in seinem unteren Teile eine marine, in seinem oberen Teile eine Süfswasserfauna; doch finden sich hier auch ursprünglich marine Tiere, die sich an das süfse Wasser gewöhnt haben [3]). Ist er einst völlig geschlossen, so trägt er alle Merkmale jener Seen an sich, die wir oben als ehemalige Fjorde betrachteten.

Wenn wir nun das Auftreten der fjordartigen Küstenzertrümmerung vergleichen, so gelangen wir zu der Belehrung, dafs die Fjorde nirgends fehlen, wo sich ihre drei Vorbedingungen vereinigen: nämlich eine steile Aufrichtung der Küste, eine hinreichende Polhöhe, wie sie das Auftreten der Eiszeit erheischt, und ein reichlicher Niederschlag, wie ihn eine ergiebige Gletscherbildung verlangt. Sind diese Erklärungen beruhigend, so gewinnen unsere Kartenbilder dadurch neue Reize; denn wo wir in Zukunft zerrüttete und zerschnittene Küstenumrisse erblicken, werden sie landschaftliche Eindrücke in uns hervorrufen. Wo wir Fjorde entwickelt finden, werden wir Steilküsten vermuten; wo sie unter höheren Breiten fehlen, werden wir einen seichten Küstenrand vor uns sehen. Wir werden geistig schauen können, wie weit in den Eiszeiten Küstengletscher dem Äquator sich näherten; noch jetzt aber werden wir an den Grenzlinien jener Verwitterung den Gang der Isothermenkurven verfolgen können; endlich erweckt uns noch heutigen Tages der Anblick der Fjorde die Vorstellung eines beständig getrübten Himmels mit schwer heranziehenden Wolken, die

[1]) A. Helland in Poggendorffs Annalen. Bd. CXLVI (1872), S. 553.
[2]) l. c. S. 559.
[3]) l. c. S. 559.

ihre Schauer über die Küste schütten, zu denen sich unter höheren Breiten Gletscher gesellen, die bis an den Seespiegel hinabwachsen und von denen sich Eisberge ablösen. Da, wo die Verwitterung Küsten schon in Inseln und Klippen aufgelöst hat, werden wir Felsarten anzutreffen hoffen, die wehrlos gegen die verbündeten und auf Schaden bedachten Kräfte des Luftkreises waren; da, wo die Fjordklüfte nach der Schnur gezogen erscheinen, werden wir schwerer zersetzbare spröde Gesteine, wie die Thonschiefer, suchen. Vor allen Dingen wird unser Auge geschärft werden für die Umrisse des Trocknen auf der Erde; wir werden das Gleiche zu ordnen, das Ungleiche zu scheiden lernen und zuletzt uns überzeugen, dafs jede Einzelheit in den Umrissen der Uferlinien ihren geheimen Sinn besitzt, wenn es uns durch aufmerksames Vergleichen gelingt, sie zum Reden zu zwingen.

XIV. Über den Ursprung der Inseln[1]).

Um das beabsichtigte Ergebnis der gegenwärtigen Untersuchung im voraus zu verkünden, soll der Beweis versucht werden, daſs alle Inseln, die einem Festlande nahe liegen, nichts anderes sind als entweder abgesprengte Bruchstücke der nächsten Küste oder Anschwemmungen jungen Landes oder Ablösungen eines ehemaligen Kontinentalgebietes durch langsame Senkung unter den Meeresspiegel. Alle anderen Inseln liegen im Oceane und sind mit Ausnahme von nur zwei Erdräumen entweder durch Bauten von Korallen entstanden oder durch vulkanische Erscheinungen ausgezeichnet.

So arm ist unsere Sprache an Bezeichnungen für wasserumschlossene Erdräume, daſs wir nur zwei gleichbedeutende Wörter, Insel und Eiland, auf alle Gestaltungen anwenden sollen, die so verschieden sind wie die infusorischen Körperchen des Inselschwarms an der Südküste von Cuba, den Columbus den Garten der Königin nannte, und solche kleine Welten wie Borneo, Madagaskar oder Groſsbritannien. Nennt man jedes von Wasser umgebene Land eine Insel, so wird die Unterscheidung, was Insel oder Festland sei, völlig willkürlich. Der Philosoph Immanuel Kant sagte daher halb spöttisch in seinen Vorträgen über physikalische Geographie, man nenne Insel jeden Erdraum, der völlig umsegelt worden sei, Festland dagegen denjenigen, dessen Uferbegrenzungen durch die Seefahrer noch nicht haben festgestellt werden können. Wollte man diese Erklärung ernsthaft anwenden, dann würde die heutige Wissenschaft drei Weltinseln und zwei Festlande kennen. Die Weltinseln wären Amerika, die Alte Welt und Australien, die Festlande dagegen Grönland und das von Sir James Roſs entdeckte Victorialand, wenn überhaupt am Südpol die trockenen

[1]) Aus Peschels „Neuen Problemen“ (3. Aufl. S. 24—43); an verschiedenen Stellen muſste dieser Abschnitt völlig umgestaltet werden.

Räume so viel Flächeninhalt besitzen sollten, dafs man sie ohne Übertreibung für ein Festland erklären dürfte.

Diejenigen Inseln, welche in der Nähe der Kontinente liegen und durch gewisse Merkmale ihre ehemalige Zugehörigkeit zu denselben verraten, bezeichnet man nach Alfred Kirchhoffs Vorgang[1]) am besten als Festlandsinseln. Ganz verschiedenartige Kräfte haben ihre Loslösung vom Festlande herbeigeführt: entweder heftiger Wogendrang der Brandung, mächtige Flutwellen, beide unterstützt durch die verheerenden Kräfte unseres Luftkreises, oder seculäre Senkung des betreffenden Erdraumes. Bisweilen vereinigten sich auch beide an einer und derselben Stelle, wie an der deutschen Nordseeküste, um desto erfolgreicher die Abtrennung von Randstücken des Festlandes zu betreiben. An vielen gebirgigen Ufern fand ferner eine Ablösung infolge mächtiger Schichtenstörung statt. Speciell für die Fjordküsten kommt dieser dritte Faktor besonders in Betracht: verschiedene Trümmer wurden hier während der Hebung des Landes geschaffen durch die Bildung zahlreicher sich durchkreuzender Klüfte und Spalten; doch ist ein Hauptteil der Zerrüttung wohl auch in diesem Falle dem Spiel der Wellen und der Wirkung der Atmosphärilien zuzuschreiben. Erzeugnissen dieser Art begegnen wir, wie wir es bereits in den Untersuchungen über das Gesetz der Fjordbildung gezeigt haben, nur unter hohen Breiten; denn sie überschreiten nie auf beiden Halbkugeln eine Polhöhe von 40°. Die ausdrucksvollsten Erscheinungen dieser Art treffen wir in dem Inselraum an den pacifischen Küsten des Territoriums Alaska und des britischen Nordamerika, an dem zerrütteten westlichen Rande Patagoniens, an der fransenartigen Küste Grönlands in der Davisstrafse und an den westlichen Ufern Norwegens wie Schottlands. Weder die asiatischen, noch die afrikanischen, noch die australischen Gestade sind durch Fjorde aufgeschlossen oder von Schäreninseln eingehüllt.

Ihrem Ursprung nach völlig verschieden sind solche Inseln, welche durch örtliche Senkung von dem Festland abgelöst wurden. Die Merkmale einer solchen Entstehung zeigen sich am reinsten bei Grofsbritannien und Irland. Wie man aus beifolgender Skizze (Fig. 76) sehen wird, sind die britischen Inseln ein Zubehör von Europa, welches westlich von Irland jäh in atlantische Tiefen hinabfällt; nur hat es sich an den Rändern schon unter den Wasserspiegel gesenkt, so dafs das Meer den Boden der Nordsee überfluten und durch einen

[1]) Deutsche Revue. Januar 1879, S. 98. Diesem lehrreichen Aufsatze („Wie die Inseln im Meer entstanden sind," S. 96—105) verdanken die beiden Abschnitte über den Ursprung und über die Tier- und Pflanzenwelt der Inseln mehrfache Berichtigungen.

eindringenden Arm, den Ärmelkanal, die britischen Inseln dem Festland entfremden konnte. Dies ist, geologisch gesprochen, erst vor

Fig. 76.



Die britischen Inseln.

Der schwarze Farbenton zeigt das Land an, welches übrig bleiben würde, wenn die See plötzlich um 200 Meter stiege; der nächste Farbenton giebt die heutigen Wasserlinien an; die leichte Schraffierung zeigt den Seeboden bei einer Senkung des Meeres um 200 Meter; die leeren Flächen umfassen Meerestiefen von mehr als 100 engl. Faden.

kurzer Zeit geschehen (wahrscheinlich gegen Ausgang der Tertiärzeit oder am Anfang der Quartärzeit); denn die höheren und vollkommener organisierten Tierformen, sowie die blühenden Gewächse sind bis auf wenige Ausnahmen mit denen von Frankreich und Deutschland völlig identisch[1]), wenngleich im allgemeinen die Übereinstimmung nicht so

[1]) Nach Charles Martins kommen auf den großbritannischen Inseln auch zwei amerikanische Pflanzen, Eriocaulon septangulare und Spiranthes cernua, vor (Revue des deux Mondes. Tome LXXXV [1870], p. 645). Zur

grofs ist, wie man früher glaubte (vgl. hierzu S. 561). An der Nordküste Schottlands finden sich Ähnlichkeiten der Pflanzenwelt mit Norwegen, an der Ostküste und im ganzen Innern Englands mit der Pflanzenwelt Deutschlands, an der Südküste Englands und in Irland Ähnlichkeiten mit der französischen und nordspanischen Pflanzenwelt; kurz, wenn die britischen Inseln mit Europa noch trocken verbunden wären, ihre Pflanzen- und Tierwelt würde denselben Charakter an sich tragen wie jetzt. Der Kanal, im allgemeinen sehr seicht, ist zwischen Calais und Dover nur wenig über 20 Faden tief, so dafs der Turm mancher unserer Dorfkirchen, wenn wir sie auf die Sohle jener Meerenge setzen könnten, noch über das Wasser ragen würde. Das Nämliche gilt auch von der Nordsee; südwärts von einer Linie, die man sich von Aberdeen in Schottland nach der Nordspitze Jütlands gezogen denkt, würde der Strafsburger Münster, auch wenn er auf der tiefsten Stelle des Meeresbodens stände, nicht unbeträchtlich über den Wasserspiegel aufragen. Nur an der Südwest- und Südküste Norwegens zieht sich eine tiefe Thalfurche hin [1]). Es bedürfte also nur einer geringen seculären Erhebung, um die britischen Inseln wieder an Europa zu befestigen.

Das Seitenstück zu den britischen Inseln gewährt uns Neuguinea, welches die Torresstrafse von Australien trennt; denn die Torresstrafse sowohl als die westlich von ihr liegende Harafurasee besitzen nur eine mittlere Tiefe von 30 Faden, und das Gleiche ist der Fall mit dem Südchinesischen Meer zwischen Borneo, Kambodja, der Halbinsel Malaka, Sumatra und Java. Die Naturgrenze, welche Australien und seinen Zubehör an Inseln von Asien scheidet, ist eine über 100 Faden tiefe Strafse, welche, nur vier geogr. Meilen breit, die asiatische Insel Bali von der australischen Insel Lombok und Borneo von Celebes scheidet. Westlich von dieser Linie sind alle Tierformen und unter diesen, wie Wallace glänzend gezeigt hat, selbst die Vögel asiatisch; östlich werden sie mehr und mehr australisch [2]). Dafs jene tiefe unterseeische Kluft erst im Laufe der tertiären Zeit entstand und Australien einen trockenen Zusammenhang mit der Weltinsel besafs, die wir bewohnen, beweist der Umstand, dafs Europa damals noch Beuteltiere

Erklärung dieses Phänomens denken wir an das historisch gut beglaubigte Einschleppen der Wasserpest, und wie diese mögen auch jene zwei Süfswasserpflanzen auf unbemerkte Art über das Atlantische Meer sich eingeschlichen haben.

[1]) Eine ganz ähnliche Erscheinung findet sich bei Nowaja Semlja, weshalb v. Middendorff die Vermutung aussprach, dafs hier eine allgemeine geologische Ursache zu Grunde liege. Petermanns Mitteilungen 1871, S. 31.

[2]) A. R. Wallace, The Malay Archipelago. London 1869. Vol. I, p. 18 sq.

und Eukalypten mit dem heutigen Australien gemein hatte. Zum Nachteil der australischen Schöpfung zerrifs den Zusammenhang jene Spalte, und Australien blieb seitdem, auf sich selbst angewiesen, in seiner Entwicklung zurück, so dafs ein Europäer, der jetzt Australien betritt, dort die abgelegten und altmodisch gewordenen Trachten der Tiere und Pflanzen wiederfindet, die seinem heimatlichen Weltteil zur tertiären Zeit noch nicht fremd waren.

Australien bietet uns noch ein anderes Beispiel eines Gebietsverlustes in der Insel Tasmanien, welche, nur durch die seichte Bafsstrafse (mittlere Tiefe 35 Faden) getrennt, nichts anderes ist als eine Halbinsel, deren unterseeischen Zusammenhang uns das Meer zu verheimlichen sucht. Die Trennung Tasmaniens von dem australischen Hauptkörper mufs übrigens in einer jüngeren geologischen Vergangenheit erfolgt sein. Tasmanien ist nämlich in Bezug auf seine Pflanzenwelt, wie Hooker uns berichtet hat, vollständig australisch; sie würde kaum anders sein, wenn Tasmanien noch immer statt der Bafsstrafse einen Länderzusammenhang mit der Südostecke Australiens besäfse, während die Pflanzenwelt Neuguineas einen ausgesprochen indischen Charakter an sich trägt[1]). Der Tierwelt Tasmaniens fehlt es zwar an Vollständigkeit, um mit der australischen übereinzustimmen; doch deutet die vergleichsweise grofse Armut Neuguineas an Beuteltieren (22 Arten auf Neuguinea und den kleineren Nachbarinseln), sowie die Nordaustralien an Pracht weit überbietende Entwicklung der Paradiesvögel auf dieser Insel auf eine weit frühere Loslösung derselben von dem australischen Kontinente hin[2]). Tasmanien ist demnach als australische Insel jünger als Neuguinea.

Wir können von den australischen Erdräumen noch nicht scheiden, ohne auf ein merkwürdiges Gesetz aufmerksam zu machen. Während die Inseln auf vulkanischen Spalten und die Koralleneilande unter sich eine unverkennbare Ähnlichkeit ihrer Einzelkörper uns gewahren lassen, finden wir Zusammenscharungen solcher Inseln, deren Einzelwesen durch Gliederung und Mannigfaltigkeit der Umrisse individualisiert sind, nur da, wo durch Zerstörung eines älteren Zusammenhanges von Festländern Inselwelten entstanden sind. Alle Gesellschaften von gröfseren nichtvulkanischen und nichtmadreporischen Inseln finden wir allein in denjenigen Meeren, die sich zwischen Festlandsmassen hineingedrängt haben. Wenn wir die wegen ihrer ungenügenden Erforschung uns noch unverständliche Südpolarwelt aus dem Spiel lassen, giebt es auf der Erde nur fünf Zusammenscharungen von

[1]) A. Grisebach, Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 69.

[2]) Alfred Kirchhoff, l. c. S. 101.

größeren Inseln, deren Erhebung weder auf vulkanische Kräfte, noch auf die Thätigkeit von Korallen sich zurückführen läßt. Die reichste Gruppe unter ihnen, die malayische, liegt zwischen Australien und Südasien, die Inseln des amerikanischen Nordpolarmeeres zwischen den Küsten der Hudsonsbaigebiete und dem grönländischen Kontinent, die Großen Antillen zwischen Nord- und Südamerika, die griechischen Inseln an einer Stelle, wo sich Südeuropa und Kleinasien nähern. Endlich begegnen wir im kleinen der nämlichen Erscheinung in den dänischen Inseln, welche den Zwischenraum zwischen der jütischen Halbinsel und Südschweden ausfüllen. Von dem malayischen Archipel, von der westindischen Gruppe, von den griechischen und baltischen Inseln wissen wir, daß sie auf sehr seichten Meeren ruhen. Das Gleiche scheint auch mit dem Archipel in dem amerikanischen Nordpolarmeer der Fall zu sein; doch fehlen hinreichende Angaben von Seetiefen. An einzelnen Stellen sind sie dort beträchtlicher, als man es erwarten sollte, namentlich in der Davisstraße und in der Baffinsbai.

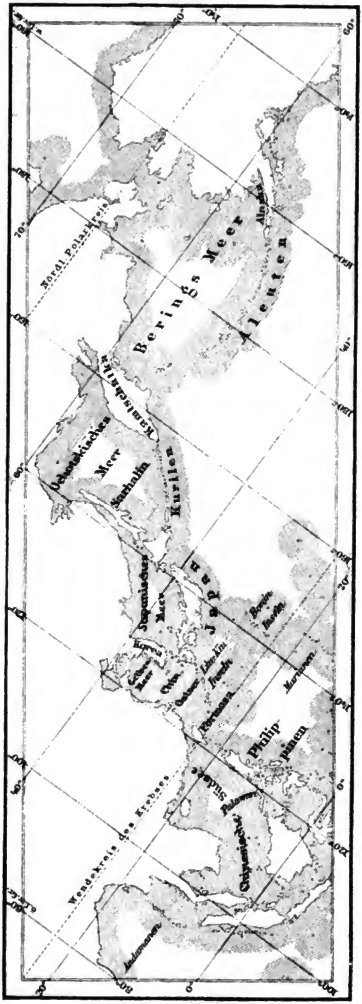
Unter vulkanischen Inseln verstehen wir solche, welche thätige oder erloschene Vulkane tragen. Doch muß man sich hierbei stets bewußt bleiben, worauf uns Alfred Kirchhoff[1]) aufmerksam macht, daß in einzelnen Fällen die mit Vulkanen besetzten Inseln durchaus keine oceanischen Inseln sind, sondern einstmals dem Kontinent angehörten, also unter die Gattung der Festlandsinseln zu zählen sind. Würde z. B. Frankreich um wenige Hunderte von Metern sinken, so würden die auvergnatischen Vulkane eine stattliche Reihe vulkanischer Hochinseln darstellen. Leider läßt sich in vielen Fällen nicht mit Sicherheit entscheiden, ob eine vulkanische Insel von allem Anfang an mitten aus dem Schoße des Oceans sich erhob. Doch sind z. B. Japan, die Philippinen, Java und Sumatra trotz ihres Vulkanreichtums ohne Zweifel losgelöste Randgebiete Asiens. Auch haben wir verschiedene Gruppen kleiner Vulkaninseln, z. B. die Canaren, Madeira, die Kapverden, Comoren, Tonga- und Fidschi-Inseln, auf denen neben den vulkanischen Massen das nichtvulkanische Grundgebirge in nicht unbedeutender Ausdehnung vorkommt, unbedingt als Überreste alter, größerer Festlandsbruchstücke zu betrachten. Mindestens verdanken diese Inseln ihre Existenz nicht allein dem Vulkanismus.

Die Mehrzahl der vulkanischen Inseln — und zwar sowohl der echten Inselvulkane wie der von Vulkanen besetzten alten Festlandsbruchstücke — ist leicht kenntlich durch ihre Anordnung und Reihenfolge. Am regelmäßigsten ist ihr Auftreten an den Rändern des Stillen

[1]) l. c. S. 104.

Meeres, von dem Territorium Alaska angefangen bis zu den Philippinen (s. Fig. 77). Wir gewahren zunächst, daſs sich in der Richtung der Halbinsel Alaska in einer sehr flachen, fast regelmäſsigen Kurve die vulkanischen Aleuten anschlieſsen. Unmittelbar nachher folgt die vulkanische Halbinsel Kamtschatka, in deren Verlängerung, aufgereiht wie Perlen an einer Schnur, ebenfalls in einem flachen Bogen die vulkanischen Kurilen sich nach Jeso hinüberschwingen. Wiederum streckt das Festland eine halbinselartige Verlängerung vor. Es ist die Insel Sachalin, die nur durch eine so seichte Meerenge von der Amurmündung getrennt wird, daſs eine britische Flotte, welche während des Krimkrieges russische Schiffe im Tatarischen Golfe verfolgte, wegen

Fig. 77.



Die Inselguirlanden am Westrande des Stillen Meeres.

Mangels an Lotsen es nicht wagte, in das Ochotskische Meer hinauszulaufen. Nicht unerlaubt ist es also, die Insel Sachalin als eine clandestine Halbinsel anzusehen. Wenn auch auf ihr bisher nur in der De Castrie-Bai Lavafelder gefunden worden sind, so schliefst sich doch an Sachalin wiederum die japanische Inselwelt an, ebenfalls an ihrem Westrande sanft gekrümmt und ebenfalls mit erloschenen und noch rüstigen Vulkanen ausgestattet. Folgen wir der Küste Asiens nach Süden, so stofsen wir abermals auf eine Halbinsel, nämlich auf Korea, in deren Verlängerung, wie Perlen an einander gereiht, die Liu-Kiu-Inseln in einem Bogen nach dem Festlande zurückstreben. Zum Schlufs wiederholt sich das nämliche Schauspiel noch einmal, wenn auch die Ähnlichkeiten etwas verwischter sind. Wir stofsen nicht mehr auf eine Halbinsel, wohl aber auf eine Insel von peninsularer Gliederung, nämlich auf das vulkanische Formosa, welches die Fukianstrafse von dem chinesischen Festlande trennt und welches hinüberdeutet zu den hochvulkanischen Philippinen, an deren Westküste eine vulkanische Kurve von Palawan nach Borneo führt, während eine zweite mehr im Osten zu den molukkischen Vulkanen leitet. Im ferneren Hintergrunde des Grofsen Oceans erscheinen noch die vulkanischen Inselkurven der Boningruppe und der Marianen.

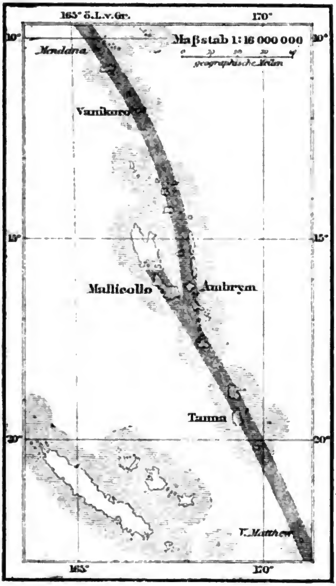
Allen diesen vulkanischen Inselschnüren ist es gemeinsam, dafs sie nach dem Ocean zu gewölbt (konvex), nach dem Lande zu hohl (konkav) sind. Man entgeht daher schwer der Versuchung, hierin ein Naturgesetz zu erkennen, da auch in anderen Erdräumen vulkanische Inseln einer gleichen Anordnung gehorchen, wie z. B. die Kleinen Antillen in einem Bogen sich schwingen, der gewölbt zu dem Atlantischen Meere, hohl zu dem mittelamerikanischen Festlande sich verhält. Es beruht daher vielleicht nur auf einer Täuschung, wenn die Neuen Hebriden eine Ausnahme zu bilden scheinen (Fig. 78). Verlegt man nämlich die Kurve von dem thätigen Vulkan auf Ambrym über den alle 10 Minuten aufpuffenden Feuerberg auf Tanna nach dem Inselvulkan Matthew, so würde sie dem Festlande Australien ihre gewölbte Seite zukehren; aber wahrscheinlich begegnen sich dort zwei Kurven, wovon die eine vom Mendana-Vulkan der Santa-Cruz-Inseln nur bis Ambrym reicht, die andere von Mallicollo über Tanna nach dem Matthew-Inselchen sich erstreckt, in welchem Falle beide Spalten den Hohlraum des Bogens dem nächsten Festlande zuwenden würden.

Eine weitere Folge der Anordnung jener Inselvulkane auf flachen Kurven ist es, dafs der Wölbung ihres Bogens ein mehr oder weniger tief in das Festland eintretender Golf entspricht. So liegt nördlich von den Aleuten das Beringsmeer, dem es sogar gelungen ist, die schwache Verbindung der Alten und der Neuen Welt zu zerstören; nordwestlich

von den Kurilen finden wir das Ochotskische Meer, westlich von Japan das Japanische Meer, westlich von den Liu-Kiu-Inseln die Chinesische Ostsee, westlich von den Philippinen die Chinesische Südsee.

Diese symmetrische Anordnung der Inselkränze längs des nordwestlichen Randes des Grofsen Oceans hatte schon 1811 das scharfe Auge des geistreichen Philosophen Karl Chr. Fr. Krause entdeckt[1]),

Fig. 78.



Die Santa-Cruz-Inseln und die Neuen Hebriden. (Die schraffierten Bänder zeigen den Gang der vermuteten Spalten. Alle mit Namen bezeichneten Inseln tragen noch gegenwärtig entzündete Vulkane.)

aber ohne dafs er ihre vulkanische Natur als die bedingende Ursache erkannte. Selbst v. Hoff betrachtete in seiner gekrönten Preisschrift über die natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche jene Inselguir-

[1]) Karl Christian Friedrich Krause, Das Urbild der Menschheit. Dresden 1811. S. 246—256 und Tageblatt des Menschheitlebens. Dresden 1811. Jahrgang I, Nr. 1, S. 3 ff.

landen als ehemalige Uferränder des asiatischen Festlandes, in welche die Brandung Lücken hineingenagt habe. Auch Dana schildert uns in seinem „Manual of Geology" (1st ed., p. 36) jenen symmetrischen Bau, ohne auf den vulkanischen Ursprung dieser Inselbildungen, der ihm doch ganz genau bekannt war, die Aufmerksamkeit zu lenken.

A. v. Humboldt bemerkte zuerst in seinem Essai politique sur la Nouvelle Espagne (Tome II, p. 300), welcher 1811 erschien, dafs er beim Eintragen der Vulkane auf seine Karte von Mexico mit Betroffenheit wahrgenommen habe, wie sie sämtlich in der Nähe von lat. 19° N. liegen, so dafs, wenn man vom Tuxtla bis zum Colima alle Vulkane Mexicos durch eine Linie verbinden wollte, diese auf einer Erdkugel dem Bogen eines gröfsten Kreises nahezu treu bleiben würde. Verlängert man, fügt A. v. Humboldt hinzu, die Linie der mexicanischen Vulkane in das Stille Meer, so stöfst man auf die ebenfalls vulkanischen Revillagigedo-Inseln. Es war eine der schönsten Entdeckungen A. v. Humboldts, dafs die meisten Vulkane der Erde in Reihen geordnet liegen, und Leopold v. Buch, der auf den Canarien ein örtliches Seitenstück zu dieser Erscheinung fand, schuf den Namen der Reihenvulkane. Eine Schar von Zwergvulkanen, deren Kegel wie Soldaten in Reih' und Glied auf einander folgen, ist auf der Canarischen Insel Lanzarote aus zwei parallelen Spalten herausgetreten, die wiederum, wie dies überhaupt häufig vorkommt, von Querspalten gekreuzt worden sind (s. Fig. 37 auf S. 254). Haben wir uns solche fortlaufende Klüfte wie Lippen zu denken, aus denen zeitenweise schmelzflüssige Gesteine hervorquellen, und wird eine solche Spalte oder eine Schar paralleler Spalten von kürzeren Spalten zweiter Ordnung vielfach gekreuzt, so erscheinen uns die geselligen Vulkane regellos angehäuft, so dafs es dann wie bei den Azorischen und noch mehr bei den Capverdischen Inseln und Galápagosvulkanen schwierig wird, ohne genaue topographische Bilder das Spaltennetz herauszufinden. Wenn auch unsere asiatischen Beispiele uns die reihenweise Anordnung der Vulkane glänzend bestätigt haben, so ergab sich doch, dafs sie nicht auf einem gröfsten Kreise der Erdkugel, sondern auf flachen Bogen liegen. Hat sich einmal das Auge des Anfängers für die Anordnung der Inselreihen geschärft, dann wird es ihm bald gelingen, auf den ersten Blick schon die vulkanische Natur der Marianen, der Salomonen, der Neuen Hebriden zu erkennen. Etwas schwieriger ist es schon, die vulkanische Kurve wiederzufinden in der Hawaiigruppe oder dem Sandwich-Archipel der nördlichen Halbkugel und der doppelten Kette der Marquesas- oder Mendaña-Inseln. Um vieles deutlicher ist dagegen die vulkanische Anreihung im Meerbusen von Guinea bei den Inseln Annobon, S. Thomé, Principe und Fernão do Po sicht-

bar, in deren Verlängerung das vulkanische Camerungebirge auf dem Festland Afrikas liegt und deren Kurve sich ebenfalls hohl zum nächsten Festlande verhält.

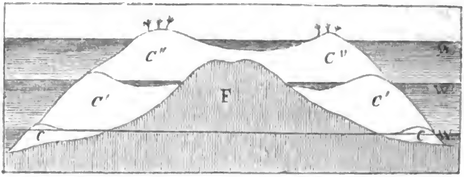
Die Entstehung der zweiten Art von Inseln auf hohem Meer, welche die Korallen erbauen, wurde von Charles Darwin auf seiner Weltumsegelung mit Fitzroy nach genauer Untersuchung der madreporischen Keelings- oder Cocosinseln im Südwesten der Sundastrafse in folgender Weise erklärt. Die riffbauende Koralle stirbt bekanntlich, sowie ihre Stöcke bis an den Spiegel des Seewassers emporgewachsen sind. Wir wissen ferner, dafs diese kalkausscheidenden Polypen nur aus sehr mäfsigen Tiefen (nämlich von höchstens 50 Metern) ihren Bau beginnen, schon weil sie nur in Seewasser zu leben vermögen, welches eine mittlere Temperatur von 25 bis 30° C. hat (nur gewisse Geschlechter können eine Temperatur von 16 bis 20° C. ertragen). Da nun in der Nähe vieler Koralleninseln das Lot in ungewöhnliche Seetiefen hinabsinkt, so mufs, während der Korallenbau aufstieg, der Baugrund sich gesenkt haben, wenn auch Pausen in dieser Bewegung und mit ihnen ein Stillstand im Emporwachsen der Korallenriffe eintraten. Dies ist die Ansicht Darwins, welcher sich auch Dana in seinem Werke „Corals and Coral Islands“ anschlofs.

Die Bildung der ringförmigen Korallenbauten (Atolle), welche sich mitten aus oceanischen Tiefen erheben, vollzog sich somit nach Darwin in folgender Weise. Jeder derselben setzt eine Bodenanschwellung voraus, die einst inselförmig aus dem Meer emporragte und allmählich unter den Spiegel desselben hinabsank. Um dies zu versinnlichen, geben wir bei W (Fig. 79) den ursprünglichen, bei W' den nächsten, bei W'' den heutigen Stand des Wasserspiegels an. Als F noch hoch über W hinausragte, erbauten die Korallen an seinen Flanken das Strandriff C, welches sich direkt an das Ufer anlehnte. Als der Berg tiefer sank, so dafs das Wasser bis W' stieg, wuchs das Korallenriff ununterbrochen nach oben und zwar am kräftigsten an seinen äufseren Rändern. Je mehr die Insel unter das Meer hinabtauchte, desto breiter wurde die Lagune zwischen ihr und dem Korallenbau, der in diesem Entwicklungsstadium den Namen Dammriff führt (C'). Endlich verschwand F völlig unter dem Wasser; die Korallen aber erbauten das Lagunenriff oder Atoll C'', eine mehr oder weniger ringförmige Insel mit einem See in der Mitte. Ursprünglich reichte dieselbe nur bis an das Niveau des Meeres, was natürlich auch von dem Strand- und Dammriff gilt; doch hierbei blieb es nicht. Muscheln, Algen, vom Meere beständig angeschwemmt, sowie die Excremente der Vögel trugen zur Erhöhung dieser flachen Bänke bei; die Wogen führten Samen von Pflanzen herzu; es entwickelte sich

eine Vegetation, deren Detritus das Terrain nicht blofs vergröfserte, sondern auch fähiger machte zur Ansiedelung neuer Gewächse. Strandete dann zufällig einmal eine Cocosnufs, die ihre Keimkraft selbst im Salzwasser lange bewahrt, so bedeckte sich diese Insel auch mit Bäumen.

Darwins Theorie ist jedoch nicht unanfechtbar; insbesondere beruht seine Behauptung, dafs alle Atolle oder echten Koralleninseln auf der Flur eines versunkenen Landes emporgewachsen seien, nur auf Vermutungen. Indem er dem Seeboden eine gleiche Neigung zuschrieb wie der benachbarten Küste, berechnete er aus diesem Böschungswinkel und der Entfernung der Riffe von der Küste die Mächtigkeit der Korallenbauten. Nun ist allerdings aufserhalb der Gürtelriffe durch das Bleilot mehrfach ein rascher Übergang zu grofsen

Fig. 79.



Die verschiedenen Entwicklungsstadien eines gesunkenen Korallenbaues.

Meerestiefen gefunden worden; thatsächlich aber hat man noch nirgends eine Korallenschicht von solcher Tiefe gemessen, dafs sie den Forderungen der Darwinschen Theorie entspräche. Im Gegenteil besteht der Tiefgrund, aus welchem die Koralleninseln emporsteigen, nach den Untersuchungen am Bord der „Gazelle“ entweder wie bei mehreren Inselgruppen im Indischen Ocean aus Globigerinenschlamm oder wie innerhalb der Tonga- und Samoagruppe aus Foraminiferenschalen, Skeletten von Tiefseekorallen, gemischt mit vulkanischem Sand, Bimsteinsplittern, oft auch gröfseren Stücken bimsteinartiger Lava. Es wäre auch wunderbar, wenn die neueren Korallenbauten bis in die Tiefsee hinabreichten; denn die Bänke, welche durch die gesellig lebenden Korallen der Vorzeit geschaffen wurden, bleiben meist weit hinter 100 Meter Stärke zurück. Sollten aber die Korallen der Gegenwart wirklich im stande sein, die höchsten Leistungen ihrer Vorfahren in der Tertiärzeit und in den älteren geologischen Epochen um das sechsfache zu übertreffen? Es erscheint in der That viel einfacher,

die Korallenbauten als eine Krönung submariner Anschwellungen zu betrachten. Diese unterseeischen Berge und Hügel, welche die Korallen wie mit einer Haube überziehen, sind wohl meist vulkanischer Art oder bestehen aus älterem krystallinischen Gestein; doch wurden sie vielleicht häufig aus den Überresten zahlreicher, der Tiefsee angehöriger Tiergeschlechter so hoch emporgeführt, bis sie sich der Meeresoberfläche beträchtlich genähert hatten und die riffbildenden Korallen die Fortsetzung des Baues übernehmen konnten[1]).

Kann auch die Darwinsche Theorie von der Entstehung der Atolle nicht mehr in ihrem vollen Umfange aufrecht erhalten werden, so scheinen doch immerhin zahlreiche Vorgänge auf eine langsame Senkung gewisser madreporischer Inselfluren hinzudeuten. Schon der berühmte arabische Geograph Biruni berichtet, dafs zeitenweise einzelne Inseln der Malediven und Lakkadiven vom Meere verschlungen würden. Aber auch in neuerer Zeit mögen derartige Ereignisse wiederkehren. So fand der englische Schiffslieutenant Prentice eine der Malediven, welche wenige Jahre zuvor noch Cocoshaine getragen hatte, bedeckt mit lebendigen Korallenpolypen. Wenn auch die Eingeborenen behaupteten, das Eiland sei von stürmischen Seen hinweggespült worden, so ist doch viel eher an ein örtliches Sinken des Meeresbodens zu denken[2]). Noch jetzt hören wir, dafs polynesische Inselbewohner zur Flucht und Wanderung genötigt werden, weil ihre zerbrechlichen Wohnsitze vom Meere zerstört wurden, was uns die weite Zerstreuung der malayischen Menschen durch ein Gebot der Natur erklären hilft, wenn auch beispielsweise die Maori, welche nach dem menschenleeren Neuseeland fuhren, von Savai, also von einer hohen Insel, nach ihren Überlieferungen gekommen sein wollen.

Begegnen wir auf unseren Karten zerstückelten Korallenriffen, so dürfen wir übrigens nicht immer an eine Zerstörung derselben durch das Meer denken, sondern es können jener Erscheinung auch andere Ursachen zu Grunde liegen. Die Korallen erfordern nämlich klares Seewasser; sie finden sich daher nirgends, wo die Ufer aus schlammigen Alluvionen gebildet sind. Auch verlangen sie einen unverkümmerten Salzgehalt des Seewassers. Dieser letztere Umstand hat im Stillen

[1]) John Murray („The structure and origin of Coral Reefs and Islands") in der Nature. Vol. XXII, Nr. 563 (12. August 1880), p. 351—355. J. J. Rein („Die Bermudas-Inseln und ihre Korallenriffe") in den Verhandlungen des ersten deutschen Geographentages zu Berlin am 7. und 8. Juni 1881. Berlin 1882. S. 29—46. Th. Studer in den Verhandlungen des zweiten deutschen Geographentages zu Halle am 12., 13. und 14. April 1882. Berlin 1882. S. 23—25.

[2]) Charles Darwin, Coral Reefs. 2nd ed. London 1874. p. 77.

Ocean eine nautische Bedeutung, da viele seiner Inseln der Schiffahrt nicht erreichbar sein würden, wenn sich nicht unfehlbar die Korallenriffe gegenüber den Mündungen der Bäche öffnen müfsten; denn der Ausflufs des süfsen Meteorwassers tötet die Korallen oder läfst sie vielmehr gar nicht aufkommen. So deuten die Lücken in den Gürtelriffen auf die Mündung eines Baches an der gegenüber liegenden Uferstelle, und umgekehrt führen die Bäche der Inseln zu Lücken in dem Korallengürtel. Endlich bedürfen die Korallen auch eines kräftigen Wellenschlages, da mit diesem eine reichliche Nahrungszufuhr verbunden ist. Deshalb gestaltet sich die Entwicklung der Korallen in der Passatzone stets an der Ostseite einer Insel am günstigsten, während sie im Innern einer Lagune bei unvollkommener Verbindung mit der See gar bald absterben.

Die heutigen Koralleninseln der Südsee sind vielleicht auf den Höhenrücken eines polynesischen Weltteiles der Vorzeit in die Höhe gewachsen; wenigstens hat Dana gezeigt, dafs diese Inseln, welche regellos wie die Stäubchen in einem Sonnenstrahl quer die Südsee durchschwärmen, doch in parallelen Zügen einer allgemeinen Richtung, wenn auch örtlich sich krümmend, beharrlich folgen und lebhaft dadurch an die parallelen Ketten und die Windungen der Cordilleren uns mahnen. Nehmen wir zu diesen Betrachtungen eine Tiefenkarte der Südsee zur Hand (etwa Tafel VII in Petermanns Mitteilungen vom Jahre 1877), so drängt sich uns diese Wahrheit noch viel mächtiger auf; denn wir erkennen sofort, dafs die Korallenriffe und Inseln streng an gewisse unterseeische Höhenrücken gebunden sind, welche gleich einem System paralleler Gebirgsketten die Südsee von Südost nach Nordwest durchziehen, während zwischen ihnen tiefe, korallenfreie Mulden sich ausbreiten. Auch diese Verteilung läfst uns deutlich erkennen, dafs die Koralleninseln nur Krönungen unterseeischer Erhebungen sind und dafs die Darwinsche Senkungstheorie in ihrer Allgemeinheit nicht haltbar ist.

Baut die Riffkoralle nur in warmem Seewasser, welches eine mittlere Jahrestemperatur von 20 bis 25 ° C. besitzt, so können sich in der geologischen Gegenwart Koralleninseln nur in den tropischen und subtropischen Gürteln finden, und wo hier kalte Meeresströmungen die örtliche Temperatur bedeutend erniedrigen, wie dies an der pacifischen Küste von Südamerika durch die Peruanische Strömung geschieht, da werden ebenfalls die Korallenbildungen verscheucht. In Petermanns geographischen Mitteilungen von 1857 (Tafel I) besitzen wir eine Karte der Südsee mit Angabe der Meerestemperaturen und einer farbigen Begrenzung der Korallenzone, die wir zur Begründung unseres Gesetzes jetzt anrufen, dafs fern von Festlanden aufserhalb der

Korallenzone Inseln nur als Vulkane oder in der Nachbarschaft von Vulkanen aufsteigen.

Der grofse Meeresraum westlich und östlich zwischen Japan und Californien, nördlich und südlich zwischen den Aleuten und Hawaii-Inseln, der allein mit Recht den Namen des Stillen Meeres verdient, ist völlig inselleer. Auf diesen folgt dann der Wolkenschwarm kleiner Inseln bis zur südlichen Begrenzung der Korallenbauten. Unter diesen Tausenden von Inseln begegnen wir nur zwei Klassen, nämlich den hohen und den niedrigen Inseln. Die hohen sind ohne Ausnahme vulkanisch; die niedrigen sind ohne Ausnahme sogenannte Atolle oder Korallenbauten. Nur äufserst selten wurden Koralleninseln ansehnlich über den Wasserspiegel erhoben. Aufgerichtet wurden z. B. nach Dana[1]) in der Tuamotu-Gruppe die Elisabethinsel oder Toau um 24, die Matia- oder Aurorainsel um 76 Meter, beide in der Nähe der vulkanischen Gesellschaftsinseln. Die nämliche Erscheinung kehrt bei der Cooks- oder Hervey-Inselgruppe wieder, die in neuerer Zeit von Lamont[2]) besucht und beschrieben wurde; die Erhebungen betragen dort bei Atiu 4, bei Mangaia 91 Meter; Rurutea mit 46 Meter Höhe gehört der benachbarten Tubuaigruppe an. Auch sie befinden sich in der Nähe der vulkanischen Gesellschaftsinseln; ja Rarotonga mitten unter ihnen besitzt selbst einen Kegelberg und ist höchst wahrscheinlich nichts anderes als ein Inselvulkan. Die anderen erhobenen Korallenbildungen zählen wie Oahu zur Hawaii-, Eua, Vavau und die Savage-Insel oder Inue zu der Tonga- oder Freundschaftsgruppe, liegen also gleichfalls auf vulkanischem Gebiet.

Die hohen Inseln gehören den Gruppen der Salomonen, der Neuen Hebriden, der Viti- (Fidschi-), der Tonga-, der Samoa-, der Tahiti- und der Marquesasgruppe an; selbst einzelne Vorposten, wie Pitcairn, die Osterinsel[3]) und Sala-y-Gomez, sind ehemalige Vulkane oder vulkanischen Ursprungs verdächtig. Die noch thätigen Vulkane liegen sämtlich in der Nähe der Festlande; die Vulkane der Marianen sind indessen weit von Asien, die auf den Samoa-[4]) und Tonga-Inseln weit von Australien, die hawaiischen weit von Amerika entfernt; verkühlt

[1]) Manual of Geology. p. 578.

[2]) Wild Life among the Pacific Islanders. London 1867. p. 72 sq.

[3]) Die vulkanische Natur der Osterinsel oder Rapa-nui bestätigt J. L. Palmer in den Proceedings of the R. Geographical Society 1870, p. 109.

[4]) In der Nähe der Schifferinseln oder der Samoagruppe wurden im September und Oktober 1866 vor Olesinga Ausbrüche eines unterseeischen Vulkans wahrgenommen und beschrieben von Eduard Graeffe im Ausland 1867, S. 522. Vgl. auch Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th edition. London 1875. Vol. II, p. 413.

ist bereits die Glut auf den Viti- (Fidschi-) und den Marquesas-Inseln. Mit den Vitivulkanen hat uns besonders Berthold Seemann bekannt gemacht, der selbst den Ruke Levu auf der Insel Kadavu bestieg. Schon seine äufsere Gestalt erinnerte ihn an den Vesuv; noch brechen an seinen Abhängen Quellen hervor, und auf seinem Gipfel ist ein Sumpf sichtbar, wahrscheinlich der letzte Rest eines schlecht ernährten Kratersees. Doch darf nicht verschwiegen werden, dafs nach den Untersuchungen Wichmanns auf der Hauptinsel der Viti-Inseln, auf Viti Levu, auch archäische Schiefergesteine auftreten und dafs sich ein ähnliches Grundgebirge wahrscheinlich auch auf Vanua Levu vorfindet. Hier stehen wir also wohl vor keiner eigentlichen Vulkaninsel, sondern vor den Bruchstücken eines ins Meer gesunkenen Länderraumes. Die Küste Nord- und Südamerikas, welche der Südsee zugekehrt ist, wird auch nicht durch eine einzige Insel belebt aufser solchen, die als Bruchstücke der nächsten Ufer zu betrachten sind. Wo wir auf hohem Meere Inseln dort antreffen, ruhen sie immer auf vulkanischem Boden, wie die Revillagigedos, die Galápagos, die Gruppe Juan Fernandez und Mas-a-fuera. In der Verlängerung des Südhornes stofsen wir abermals auf Vulkane, wie Dumont d'Urvilles Joinvilleland, welches zur hochvulkanischen Süd-Shetlandgruppe gehört; auf diese folgen gegen Osten die antarktischen Sandwichinseln, welche bei näherer Erforschung wahrscheinlich doch noch vulkanischen Ursprung verraten werden, da auch sie auf einer Kurve aufgereiht liegen.

Noch leerer an Inseln ist der Atlantische Ocean. Von dem vulkanischen Island, einem alten Reste Europas, gegen Süden treffen wir zuerst auf die Parallelreihe der Azoren, dann auf die Madeira- und die Canariengruppe, sowie auf die Capverdischen Inseln mit ihren erloschenen und noch thätigen Vulkanen. Auch diese Inselfluren waren einstmals weitausgedehnte Länderräume; denn die Tuffe Madeiras lagern auf tertiärem Kalk, und ebenso ist das Grundgebirge der Canarien unvulkanisch [1]). Ferner ist die capverdische Insel Mayo zum gröfseren Teile aus krystallinischen Schiefern, mesozoischen Kalken und Tertiärgesteinen gebildet, und Santiago, sowie San Vincent weisen Schollen von Schiefergesteinen und Kalken auf [2]). Ihnen gegenüber im Westen, der Neuen Welt näher, begegnen wir den einzigen atlantischen Korallenbauten auf hoher See, nämlich der Bermudasgruppe. Zwar finden sich hier auch dünne Sandsteinschichten; doch stammen sie nur

[1]) K. v. Fritsch in dem Ergänzungsheft 22 zu Petermanns Mitteilungen 1867, S. 3. 15. 18. 27. 32 u. a.

[2]) Corn. Dölter in den Verhandlungen der K. K. geologischen Reichsanstalt 1881, S. 79—81. 156 f. 339 f.

von zerbrochenen Kieselpanzern her, die von Sturm und Wogen ans Land geschleudert werden[1]). Afrika wieder näher folgen dann die vulkanischen Inseln im Meerbusen von Guinea. Vor der Küste Brasiliens, bereits jenseits des Äquators, steht einsam die Inselgruppe Fernando Noronha; sie ist im wesentlichen ein altes vulkanisches Bauwerk, was auch bei dem Besuche derselben durch die Challenger-Expedition am 1. und 2. September 1873 wieder bestätigt wurde[2]). Indes bestehen einige ihrer Eilande auch aus Sand- und Kalkstein. Nordöstlich von ihr liegen die Peter- und Paulsfelsen, deren Gestein zwar von Ch. Darwin für Schiefer gehalten, nach genauer Untersuchung jedoch neuerdings als Eruptivgestein erkannt worden ist[3]). Wenn wir von der Vulkaninsel St. Helena über die Vulkaninsel Ascension nach den beiden Felsen eine Kurve ziehen, so berührt sie auf dem Wege von Ascension dorthin eine atlantische Stelle, wo seit 1747 bis in neuere Zeit von Seefahrern wiederholt Anzeichen von Ausbrüchen unterseeischer Vulkane wahrgenommen worden sind[4]). Gegen Süden, nahe am 20. Breitengrade, liegen die kahlen Klippen Trinidad und Martin Vaz, welche von Indienfahrern auf dem Wege nach dem Kap zur Berichtigung der Schiffsuhren angelaufen werden, über deren Ursprung jedoch uns nähere Angaben fehlen. Dagegen ist Tristan da Cunha ein altes vulkanisches Gerüst[5]), und die Insel Diego Alvarez (Gough) liegt auf einer Spalte, die von Tristan nach der Lozier-Bouvetgruppe mit dem Vulkan der Thompsoninsel führt.

Im Südosten von Afrika folgen von West nach Ost vielleicht auf derselben Spalte drei vulkanische Archipele: die Marion-, die Crozet- und die Kerguelengruppe. Östlich von Madagaskar stofsen wir sogleich auf die vulkanischen Maskarenen, Bourbon und Mauritius, in deren Verlängerung die Vulkaninsel Rodriguez[6]) liegt, und westlich in

[1]) Nautical Magazine 1868, p. 480, wo es heifst: the sandstone being composed entirely of broken shells . . . cast up by the winter gales.

[2]) Nature. Vol. IX, Nr. 229 (19. March 1874), p. 388 sq.

[3]) Renard, Petrology of the rocks of St. Paul — im Report on the scientific results of H. M. S. „Challenger“. Narrative. London 1882. Vol. II, letzte Abhandlung, bes. p. 2 und 25.

[4]) Als das Obige geschrieben wurde, war dem Verfasser noch nicht bekannt, dafs Darwin bereits die nämliche Vermutung geäufsert hatte, die auch Sir Charles Lyell sich angeeignet hat. Ch. Darwin, Volcanic Islands. p. 92. Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p. 64. Vgl. hierzu A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. IV, S. 376.

[5]) Siehe Petermanns Mitteilungen 1855, S. 83 und Taf. VII.

[6]) Philosophical Transactions of the R. Society of London. Vol. CLXVIII (1879), p. 289—291.

der Mozambique-Strafse auf die vulkanischen Comoren. In dem Raume zwischen Madagaskar und Australien giebt es mit Ausnahme der Maskarenen und der mitten in einem leeren Raum gelegenen südlichen Zwillingsvulkane St. Paul und Neu-Amsterdam nur Korallenbauten. Im Süden Australiens liegen, von Schnee und Eis verhüllt, die zweifelhaften antarktischen Landmassen, die wohl nur deshalb immer für ein weites Festlandsgebiet angesehen wurden, weil man unter ihrem ausgedehnten, nie wegschmelzenden Eismantel überall Land vermutete. Entzündete Vulkane finden sich hier auf den Ballenyinseln, sowie im Victorialand. Ob diese aus tiefem Ocean aufsteigenden Inseln jedoch blofs als Inselvulkane oder (wegen ihres gröfseren Umfangs) als Kontinentalbruchstücke zu betrachten sind, wagen wir noch nicht zu entscheiden. Die vulkanischen Auckland-Inseln führen uns dann hinüber nach dem hochvulkanischen Neuseeland, das wiederum gegen Osten in den Chatham-Inseln einen vulkanischen Posten vorgeschoben hat.

Inseln in der Nachbarschaft der Festlande sind also entweder abgesprengte Bruchstücke steiler Küsten, wie die Fjordinseln, oder durch die Gewalt der Meereswogen losgelöste Uferteile oder endlich, wenn eine Senkung der Kontinente voranging, durch Überschwemmung abgetrennte Festlandsgebiete. Inseln auf hohem Meer dagegen entstehen entweder durch die Kalkausscheidung gewisser Polypen, oder sie liegen auf dem Gebiete vulkanischer Ausbrüche [1]).

Beunruhigend für diese Auffassung war uns lange Zeit, dafs in dem Laurentiusgolf Canadas die Insel Anticosti, welche weder auf vulkanischem Gebiete liegt, noch selbstverständlich eine Schöpfung von Korallen sein kann, nach der Versicherung von Henry Yule Hind [2]) weder Frösche, noch Kröten, noch Schlangen zu ihren Bewohnern zählt. Die Abwesenheit der Batrachier deutet sonst stets an, dafs Inseln erst kürzlich aus dem Meeresboden sich erhoben haben; denn

[1]) Alfred Kirchhoff weist darauf hin, dafs die Inseln der letzteren Gruppe noch auf einem dritten Wege zu stande kommen können: nämlich durch seculäre Hebung des Meeresgrundes oder durch eine leise örtliche Erniedrigung des Seespiegels, und nennt diese Inseln nichtvulkanische Hebungsinseln. Zu ihnen würden z. B. die Golfstrom-Inseln im Nordwesten von Nowaja-Semlja gehören, an deren Stelle die Holländer im Jahre 1594 eine 33,9 Meter unter dem Meeresspiegel gelegene Sandbank fanden (s. S. 393). Zweifellos sind nur verhältnismäfsig wenige und kleine Inseln zu dieser Gattung zu zählen. Vgl. Kettlers Zeitschrift für wissenschaftliche Geographie. Bd. III (1882), S. 172 und Aus allen Weltteilen. Bd. XIII (1882), S. 98.

[2]) The Labrador Peninsula. London 1863. Vol. II, p. 70.

Frosch- und Krötenlaich wird rasch vom Seewasser zerstört, wie Darwin gezeigt hat. Da nun Anticosti nicht durch eine Senkung Labradors oder Neu-Braunschweigs abgetrennt worden sein konnte, weil ihm dann doch gewifs jene vermifsten Tierarten geblieben wären, so blieb nichts anderes übrig als zu vermuten, dafs diese Insel, ohne jemals mit dem Festlande verknüpft gewesen zu sein, aus dem Meere aufgestiegen sei. Sorgfältige Nachforschungen führten jedoch zu einem ganz anderen Ergebnisse. Die Felsarten von Anticosti gehören nämlich einem eigenen Schöpfungsabschnitt an, der, von amerikanischen Geologen zwischen die Quebeck- und die Niagaraformation eingeschaltet, ein Glied aus der Zeit der oberen silurischen Schichten bildet[1]). Ehe die silurische Zeit zu Ende ging, war Anticosti bereits aus dem Meere aufgestiegen, und erfolgte dann rasch seine Abtrennung von dem übrigen amerikanischen Festlande, so konnte es, da jenen Zeiten die Reptilien fehlten, noch nicht von Batrachiern bevölkert worden sein. Anticosti ist also Insel gewesen und Insel geblieben, bevor Frösche und Kröten in der Schöpfung auftraten; es ist ein uraltes Stück Land, abgelöst von einem silurischen Kontinente.

Eine einzige Insel oder Inselgruppe der Südsee, über die wir bisher geschwiegen haben, nämlich Neu-Caledonien mit den parallel ihr vorgelagerten Loyalitätsinseln, kann Zweifel über ihre Herkunft erregen. Zwei der letzteren Inseln und Neu-Caledonien sind gebirgig. Vulkane oder Spuren von vulkanischen Kräften sind auf ihnen noch nicht wahrgenommen worden; sie scheinen also eine bedenkliche Ausnahme von der Regel zu bilden, dafs alle hohen Inseln von Vulkanen aufgerichtet sind. Man könnte zunächst eine Beruhigung darin suchen, dafs ihr Auftauchen zwischen der vulkanischen Inselreihe der Neuen Hebriden und dem Festlande von Australien weniger befremden dürfe; denn auch bei anderen Vulkanreihen zeigt sich bisweilen, dafs Inselketten in gröfserem Abstand parallel eine Erhebungsspalte begleiten, wie z. B. die Mantawi-Inseln auf der oceanischen Seite des vulkanischen Sumatra an einander gereiht liegen. Die Entfernung Neu-Caledoniens von den Neuen Hebriden ist aber doch zu beträchtlich, um Vertrauen zu diesem Vergleich zu erwecken. Verlängert man dagegen die grofse Achse Neu-Caledoniens nach Nordwesten, so berührt sie den Louisiade-Archipel, der wiederum nichts anderes ist als eine ins Meer versunkene Gliederung Neuguineas. Beachten wir ferner, dafs auf der Gruppe Neuseelands zwei Erhebungsachsen scharf zusammenstofsen, nämlich eine von Südwesten nach Nordosten, mit der eine andere von

[1]) S. die Beschreibung der Anticosti-Formation in Logans Geology of Canada. Montreal 1863. p. 298 sq.

Südosten nach Nordwesten zusammentrifft, und dafs die Verlängerung der letzteren zur Berührung der Südostspitze Neu-Caledoniens führen würde, übersehen wir vor allem nicht, dafs die Ostküste des Kontinents von Australien, wenn auch abgestumpft, parallel zu den beiden Achsenrichtungen Neuseelands streicht und symmetrisch wie dieses letztere unter lat. 25° S. plötzlich nach Nordwesten herüberschwenkt, so deutet dieser gemeinsame und gewifs nicht aus Zufall übereinstimmende Bau auf eine geologische Vergangenheit, in welcher der neuholländische Kontinent tiefer nach Osten in die Südsee hineintrat und wo ihm noch Neuguinea, Neu-Caledonien und Neuseeland angehörten, die uns dann seine ehemaligen Uferbegrenzungen verraten. Neu-Caledonien gehört noch gegenwärtig unter die Inseln, die langsam abwärts schweben, und dafs auch zwischen dieser Gruppe und Australien eine starke Senkung stattgefunden hat, bezeugt das grofse Barrière-Riff an der Ostküste Australiens. Streckte ehemals der australische Kontinent sein südliches Horn nach höheren antarktischen Breiten, so etwa, dafs seine Spitze in der Verlängerung der neuseeländischen Südinsel, sowie in der Verlängerung der Westküste Tasmaniens lag, so würde er die heutige Macquarrie-Insel berührt haben. und seine Gestalt wäre dann dem heutigen Afrika täuschend ähnlich gewesen (Fig. 80).

Die vorgetragene Ansicht hatte im Jahre 1867 in der That vieles für sich; wesentlich anders liegen die Verhältnisse jetzt. Die zahlreichen neueren Tiefseemessungen, welche am Bord des „Challenger“, der „Tuscarora“ und der „Gazelle“ vorgenommen wurden, sind zwar der obigen Annahme insofern günstig, als eine Linie von der Carpentaria-Halbinsel über Norfolk nach der Nordinsel von Neuseeland nur durch ein seichtes, c. 500 Faden tiefes Meeresgebiet hindurchführt; doch ist Neu-Caledonien von demselben durch einen gegen 1500 Faden tiefen Kanal getrennt. Von Neuseeland aus finden sich weithin nach Süden seichte Meeresteile; indessen sinken dieselben, ehe sie die Macquarrie-Insel erreichen, wahrscheinlich unter die 2000-Faden-Linie herab. Ungünstig sind die neu ermittelten Tiefenwerte jener Annahme aber namentlich insofern, als sie für das Meer zwischen Tasmanien, Neuseeland und der Macquarrie-Insel die Existenz einer weiten, in der Mitte bis gegen 2600 Faden tiefen Mulde fordern. Ein Blick auf das beistehende Tiefenkärtchen läfst uns ferner sofort erkennen, dafs, wenn überhaupt jemals ein Zusammenhang zwischen Australien und der Macquarrie-Insel bestand, dieser wohl nur durch Neuseeland, aber kaum durch Tasmanien vermittelt werden konnte. Doch hätte auch in solchem Falle der australische Kontinent den Typus der drei südlichen Erdteile noch deutlich verraten.

Neuseelands Organismen — und zwar ebensowohl die lebenden wie die fossilen aus den entferntesten geologischen Zeitaltern — weisen

Fig. 80.



Australien und seine Inselwelt mit Angabe der asiatischen Naturgrenze nach Wallace.

eine reiche Fülle ganz eigentümlicher Formen auf. Andrerseits aber legen die mannigfachen Beziehungen, welche zwischen dem Pflanzen- und Tierleben Neuseelands und Nordaustraliens bestehen (vgl. S. 568),

die Annahme einer alten Landverbindung zwischen diesen beiden Länderräumen sehr nahe. Indes mufs die Trennung derselben bereits am Anfang der Tertiärzeit erfolgt sein.

Noch wenig sicher sind unsere Erkenntnisse über Madagaskar und Ceylon trotz der bedeutsamen Einblicke, welche die neuere Naturwissenschaft in das Pflanzen- und Tierleben dieser Inseln gewonnen hat. Je öfter man diese Inseln betrachtet, um so befremdender wirkt ihr Anblick. Johann Reinhold Forster, der Begleiter Cooks auf seiner zweiten Reise, der nach Lord Bacon am frühesten mit geographischen Vergleichen sich beschäftigte, erkannte schon, dafs die grofsen Weltinseln spitz und steil gegen Süden vordringen. Er selbst sah Afrika am Kap der Guten Hoffnung schroff in das Meer sinken; er segelte am Feuerland vorüber; er berührte auch die Südspitze Tasmaniens, welches man damals (1773) und noch bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts als eine echte Halbinsel des australischen Festlandes betrachtete, und er rechnete auch noch mit vollem Rechte die vorderindische Halbinsel zu den nach Süden gerichteten, dreieckigen Auswüchsen der Weltinseln. Höchst merkwürdig sei es, fügt er dann hinzu, dafs die westlichen Ränder dieser Kontinentalspitzen inselfrei seien, während auf ihren Ostseiten gröfsere Inseln oder Inselgruppen auftauchten, nämlich östlich von der südamerikanischen Spitze die Falklandsgruppe, östlich vom südafrikanischen Dreieck Madagaskar, östlich von der vorderindischen Halbinselpyramide Ceylon, endlich östlich von dem tasmanischen Horn Australiens die Neuseelandgruppe. So merkwürdig auch immer die Übereinstimmung der Ortslage dieser Inseln bleiben mag, so sehen wir doch diese Körper selbst mit ganz anderen Augen an, als es vor etwas über hundert Jahren von Forster geschehen konnte. Die flachen Falklandsinseln mit ihrer patagonischen Flora und Fauna sind ein Zubehör des südamerikanischen Kontinents und haben wenig Ähnlichkeit mit der hochvulkanischen neuseeländischen Gruppe, dem Eckstein des ehemaligen Australien, mit dem sie nur in sehr ferner geologischer Zeit einen trockenen Zusammenhang besessen haben kann. Noch verschiedenere Gedanken erregen in uns die Gestalten Ceylons und Madagaskars, die, wie A. v. Humboldt flüchtig, aber treffend andeutet, einen „kontinentalen Charakter" verraten[1]). Madagaskar beherbergt nicht weniger als 66 Arten Säugetiere: ein sicherer Beweis dafür, dafs diese Insel einst mit dem Festlande verbunden war; denn nur von einem solchen können diese herstammen[2]). Diese Tiere aber unterscheiden sich sehr wesent-

[1]) Kosmos. Bd. IV, S. 413.

[2]) Vgl. zu dem Folgenden A. R. Wallace, Island Life. London 1880. p. 383 sq.

lich von denen der benachbarten Kontinente. Afrika ist charakterisiert durch seine Meerkatzen, Gorillas und Paviane, durch seine Löwen, Leoparde und Hyänen, durch seine Zebras und Quaggas, Elefanten und Rhinocerosse, durch seine Büffel, Giraffen und zahlreichen Antilopen — lauter Tiere, die auf Madagaskar durchaus vermifst werden. Aber auch wichtige asiatische Typen, wie Tiger, Bären, Tapire, Hirsche und Eichhörnchen, werden vergeblich auf Madagaskar gesucht, und so erscheint diese Insel auf den ersten Blick als eine Welt für sich, die weder mit dem einen, noch mit dem anderen Kontinente jemals vereinigt war.

Höchst überraschend ist die Thatsache, dafs unter jenen 66 Arten madagassischer Säugetiere 33, also gerade die Hälfte, Lemuren oder Halbaffen sind. Diese Gruppe niedrig organisierter Tiere hat auch anderwärts einige Vertreter, wie in Afrika, Indien und auf dem Malayischen Archipel, ist jedoch nirgends in so reicher Arten- und Individuenzahl vorhanden wie auf Madagaskar. Von den 12 Insektenfressern dieser merkwürdigen Insel zählen 10 zu den Borstenigeln, einer Familie, welcher man sonst nur auf Cuba und Haïti in 2 Arten begegnet. Endlich leben auf Madagaskar noch Zibetkatzen (8 Arten, vorwiegend von afrikanischem Charakter), 4 eigentümliche Mäuse, sowie ein Wasserschwein. Auch die Vogelwelt Madagaskars ist von ganz eigenartigem Gepräge; denn unter ca. 100 Arten von Landvögeln sind alle bis auf 4 oder 5 der Insel eigentümlich. Sie zeigen einige Beziehungen zu Afrika und Indien; doch fehlen zahlreiche afrikanische Typen, wie Pisangfresser, Glanzstare, Madenhacker, Bartvögel, Honigkuckucke, Nashornvögel, Trappen u. a. Mehrere der überaus zahlreichen Reptilien stehen in seltsamer Verwandtschaft zu amerikanischen Tieren, während die in Afrika und Asien sehr häufigen Familien der Vipern und Wolfschlangen keinen einzigen Repräsentanten haben.

Die befriedigende Lösung dieser Rätsel verdanken wir der Paläontologie. Sie belehrt uns, dafs die gröfseren Säugetiere und Vögel, welche gegenwärtig Afrika bewohnen, zur Miocänzeit in Europa und Nordindien heimisch waren. Ferner liefert sie Beweise dafür, dafs schon vor dieser Zeit (im Eocän) das tropische Afrika durch ein Meer von Nordafrika, Europa und Asien getrennt war. Darum entbehrte das tropische Afrika zu jener Zeit seiner heutigen Tiere; dieselben drangen vielmehr hier erst ein, als Afrika, seine jetzige Gestalt annehmend, durch eine Landbrücke mit dem grofsen kontinentalen Länderraum im Norden verknüpft ward. Dies geschah etwa gegen Ende der Miocänzeit. Damals aber hatte sich Madagaskar bereits von Afrika gesondert, und so wurden durch die Barriere der Mozambique-Strafse

von ihm alle jene Tiere ferngehalten, welche über die neu geschaffene Landbrücke von Norden her in das tropische Afrika einwanderten [1]).

Ferner liefert uns die Paläontologie den Schlüssel in die Hand, um die Herkunft der so merkwürdigen madagassischen Fauna zu erklären. Die fossilen Tierreste Europas bestätigen, dafs Halbaffen, Borstenigel, Zibetkatzen und andere Tiere des heutigen Madagaskar zur Eocän- und Miocänzeit (die letzteren sogar während der ganzen Tertiärzeit) über Europa verbreitet waren. Tiere, welche jetzt nur noch auf entlegenen Inselgebieten ihre Existenz zu behaupten vermögen (wie die Borstenigel in Westindien und auf Madagaskar), beherrschten einst weite Festlandsräume und konnten somit auch Madagaskar leicht erreichen, so lange es seinen Zusammenhang mit einem der nördlichen Kontinente bewahrte.

Vielleicht läfst sich später auch für die madagassische Pflanzenwelt ähnliches erhärten. Gewifs ist, dafs sie in hohem Grade merkwürdig und eigentümlich ist. Wenn Du Petit Thouars dieser Insel sogar eine endemische Pflanzenfamilie (die Chlaenaceen) zuerkennt, so bleibt es zwar zweifelhaft, ob er genügenden Grund hierzu hat [2]); doch hat man bereits gegen 100 Madagaskar eigentümliche Gattungen beschrieben, die sich auf etwa 40 Familien verteilen.

So wenig es statthaft ist, aus dem Vorkommen von Borstenigeln auf Madagaskar und in Westindien auf eine ehemalige direkte Verkettung dieser Inselgebiete zu schliefsen, ebenso wenig haben wir ein Recht, zur Verbreitung der Lemuren von Madagaskar nach Sumatra einen alten, jetzt versunkenen Erdteil zu konstruieren, welcher die beiden Inseln mit einander verknüpfte. Die Annahme dieses hypothetischen Festlandes, welches von Sclater [3]) als Lemuria bezeichnet wurde, erweist sich nach den obigen Auseinandersetzungen als überflüssig und erscheint im Hinblick auf die ungeheuren Seetiefen ostwärts von Madagaskar fast unhaltbar [4]). Dennoch gehört das Lemurialand noch nicht in das Reich der Fabel. Aus den geologischen Arbeiten Blanfords und Waagens hat sich ergeben, dafs sich nördlich und südlich von einer Linie, die von Madagaskar nach Südindien führt, in der mesozoischen Zeit ganz verschiedenartige marine Bildungen entwickelten; es mufs daher während eines grofsen Teiles

[1]) Nach Huxley (Anniversary Address to the Geological Society in 1870) in A. R. Wallace, l. c. p. 390.

[2]) A. Grisebach, Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 525.

[3]) Quarterly Journal of Science, April 1864.

[4]) Vgl. Krümmels Tiefenkarte des Indischen Oceans, Taf. II in Kettlers Zeitschrift für wissenschaftliche Geographie. Bd. II (1881).

dieser Zeit auf der genannten Strecke unbedingt eine Landverbindung existiert haben. Dafs dieselbe bis zum Ende der Oligocänzeit währte, kann zwar nicht mit Sicherheit behauptet werden; doch spricht hierfür aufser den beiden Gegenden gemeinsamen Tierformen noch der Umstand, dafs das tropische Afrika damals wohl noch keinen Zusammenhang mit dem europäisch-asiatischen Kontinente besafs und somit seine ältere, gegenwärtig auf Madagaskar noch heimische Tierbevölkerung offenbar auf dem Wege über Madagaskar von Indien empfing [1]). Wir haben hier übrigens ein zur Vorsicht mahnendes Beispiel, bei der Beurteilung früherer Festlandsausdehnung nicht allzuviel Gewicht auf die gegenwärtigen Meerestiefen zu legen, da sich die auf- und absteigenden Bewegungen des Meeresgrundes zweifellos nicht überall in gleichem Tempo vollzogen [2]). Dafs früher die Verteilung von Wasser und Land in den Räumen des Indischen Oceans und folglich auch die damaligen Klimate ganz andere gewesen sein müssen, scheint uns auch der Umstand zu bestätigen, dafs versteinerte Pflanzenreste das Vorhandensein von Waldungen auf der Insel Kerguelen bezeugen, während gegenwärtig dort nur sehr wenige Arten niedriger Gewächse um ihr Dasein ringen.

Vielleicht waren auch die Seychellen in der Vorzeit mit Madagaskar vereinigt; denn sie liegen nicht allein in der Verlängerung Madagaskars, sondern bestehen wohl auch aus demselben Granit, der in den Gebirgen dieser Insel wieder auftritt. Sie sind die Heimat einer eigenartigen, wunderliche Riesenfrüchte tragenden Palmengattung (der Lodoicea Seychellarum). Aufserdem deutet ihre Vogelwelt, sowie ihre höchst merkwürdige Reptilien- und Amphibienfauna auf eine alte Landbrücke nach Madagaskar hin [3]).

Dagegen ist Ceylon sicherlich kein Rest jenes Länderraumes, dessen Grundstock uns gegenwärtig in Madagaskar noch erhalten ist; mindestens löste es sich weit früher von demselben los als von dem benachbarten Indien. Wohl hat sich Ceylon bis jetzt eine beachtenswerte Selbständigkeit seiner Tier- und Pflanzenwelt bewahrt, was um so eindrucksvoller uns erscheinen mufs, als der Anfang eines Zusammenhangs mit dem Festlande durch die Adamsbrücke schon begonnen hat, welche nach dem indischen Epos die alliierten Affenkönige dem Rama bei seiner Invasion der Insel erbauten. Wallace fordert daher auch, dafs Ceylon als zoologische Subregion von Vorderindien zu scheiden sei; doch fügt er sofort hinzu, dafs die wesentlichen Cha-

[1]) Vgl. W. Neumayr in dem Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie 1881, Bd. II, Referate S. 191 f.

[2]) Vgl. hierzu auch S. 560, Nota 1.

[3]) A. R. Wallace, Island Life. p. 400 sq.

rakterzüge von Ceylons Tierleben auch den ganzen südlichen Berglandschaften Vorderindiens eigen sind und somit Ceylon und Südindien zu einer geographischen Provinz gehören[1]). Abgesehen von der geringen Tiefe der Palkstrafse spricht hierfür auch die geologische Verwandtschaft der beiden Länderräume; denn nach Medlicotts und Blanfords geologischer Karte von Indien[2]) ist Ceylon ebenso wie die Südspitze der ostindischen Halbinsel (südlich vom 16. Grad n. Br.) vorwiegend aus Urgestein gebildet und darf somit wohl als ein abgesprengtes Bruchstück des Plateaus von Dekhan betrachtet werden.

Werfen wir jetzt einen letzten Blick auf die gewonnenen Ergebnisse, namentlich auf den Umstand, dafs die Inseln auf hoher See nur durch Vulkane oder durch die Bauten der Korallen entstehen, wenn sie nicht nachweisbar die Reste der naheliegenden Festlande sind, so haben wir einen neuen, schlagenden Grund gegen die schon früher (S. 432 f., 454 ff.) von uns bekämpfte Annahme von Seegebirgen. Läge zwischen Nordamerika und Irland auf der ganzen Strecke, zwischen Guinea und Westindien bis auf etwa 70 Meilen Abstand von letzterem ein Gebirgszug wie der Kaukasus oder die Alpen oder die Felsengebirge, so müfsten seine Gipfel als Inseln irgendwo aufragen. Bei unserer Musterung aller oceanischen Inseln haben wir nur Neu-Caledonien und die Seychellen als unvulkanisch und unmadreporisch, beide aber wiederum als wahrscheinliche Reste ehemaliger Festlande erkannt; sonst aber giebt es keine Inseln, die man als die bis an die Luft ragenden Spitzen von Seegebirgen bezeichnen könnte, man müfste denn höchstens an die cordillerenartige Reihenfolge der Koralleninseln denken. Erwägen wir, dafs die Weltinseln in geschlossenen Massen auftreten, dafs das Trockene um den Nordpol angehäuft ist und in grofse Hörner gegen Süden verläuft, beachten wir auch den Umstand, dafs an den oceanischen West- und Ostküsten der Festlande alle Halbinseln nach Süden, keine nach Norden hin gerichtet sind (vgl. S. 425 f.), so können wir uns der Vorstellung nicht erwehren, dafs die Hebung der gegenwärtigen Weltinseln von einem Kern ausging und beständig nach Norden und Westen fortschritt, die heutigen Festlande unaufhörlich vergröfsernd und ihnen reichlich ersetzend, was sie durch seculäre Senkung an einzelnen Rändern verlieren mochten, dafs also die Hebung selbst immer vom Trockenen ausging und sich unter das Meer fortsetzte, nicht umgekehrt.

[1]) A. R. Wallace, Die geographische Verbreitung der Tiere. Übersetzt von A. B. Meyer. Dresden 1876. Bd. I, S. 381.

[2]) In H. B. Medlicott und W. T. Blanford, Manual of the Geology of India. Vol. I. Calcutta 1879 (verkleinert in Petermanns Mitteilungen 1879, Taf. XXI).

Hinreichende Beweise für viele der hier zuerst aufgestellten Behauptungen[1]) lassen sich erst geben, wenn wir die organischen Erzeugnisse der Inseln, ihre Gewächse und ihre Tiere mit denen der Festlande vergleichen werden. Es wird sich dann auch offenbaren, dafs auf den Geschöpfen, welche die Inseln bewohnen, ein eigenes Verhängnis ruht, welches sich nicht blofs auf ihre physischen Trachten beschränkt, sondern dem die Bewohner sogar in ihren geschichtlichen Schicksalen, ihren Sitten und ihren Sprachen unterliegen.

[1]) Hierzu ist jedoch zu bemerken, dafs schon Strabo (lib. VI, cap. 1) die Grundlinien zu einer Einteilung der Inseln lieferte und dafs bereits Bernhard Varenius (Geographia generalis. Amstelodami 1650. p. 325 sq.) und Eberhard Aug. Wilh. Zimmermann (Specimen Zoologiae geographicae. Lugd. Bat. 1777. p. 623 sq.) Inselsysteme schufen, welche in wesentlichen Punkten mit dem Peschelschen übereinstimmen. Vgl. hierzu F. G. Hahn, Inselstudien. Leipzig 1883. S. 2 ff.

XV. Die Tier- und Pflanzenwelt der Inseln[1]).

Unsere letzten Untersuchungen galten einer Unterscheidung der Inseln nach ihrem doppelten Ursprung. Wir erkannten zunächst in vielen die Bruchstücke von Festlanden, sei es, daſs ehemalige Weltinseln zu kleineren Körpern zusammengeschrumpft waren, wie dies bei Madagaskar mit den ihm zugehörigen Seychellen der Fall gewesen ist, oder indem sich Ränder von Festlanden senkten und durch Überflutung des Meeres eine Abtrennung herbeigeführt wurde oder endlich, daſs unter hohen Breiten steile Gestade infolge von Hebung und Verwitterung in Küsteninseln sich auflösten. Fern von den groſsen Weltinseln auf hoher See sahen wir dagegen Inseln nur dann entstehen, wenn unterseeische Vulkane ihre Kegel bis über das Meer aufschütteten oder wenn Korallen von der Sohle eines sinkenden Festlandes aus ihre Bauten bis zum Wasserspiegel hinaufführten. Sind diese Vorstellungen in der Natur begründet, so müssen die Bevölkerungen dieser Inseln, d. h. ihre Pflanzen und Tiere, den Menschen nicht ausgeschlossen, uns diesen Ursprung bezeugen. Sie sollten uns deutlich erkennen lassen, ob eine Insel aus dem Schoſse des Meeres aufstieg oder ob sie von einem Festlande abgesondert wurde. Es müſsten auch Unterschiede bemerkbar sein zwischen alten und jungen Inseln, seien sie nun kontinentalen Ursprungs oder vom Meere geboren worden. Um von jedermann verstanden zu werden, fügen wir sofort hinzu, daſs Inseln noch in ihrer Jugendzeit verharren, wenn sie sich vor so kurzer Zeit von einem Festlande absonderten oder von der Sohle des Oceans aufstiegen, daſs mittlerweile noch nicht so viele Veränderungen in der belebten Schöpfung unserer Erde, sei es durch Aussterben alter oder Auftreten neuer Tier- und Pflanzenarten ein-

[1]) Den „Neuen Problemen“ (3. Aufl. S. 44—65) entlehnt, zuerst veröffentlicht im Ausland am 19. Februar 1867. Es waren mehrfache beträchtliche Änderungen und Ergänzungen notwendig.

getreten sind, um in der geologischen Zeitrechnung einen neuen Abschnitt zu beginnen.

Als im Jahre 1690 ein britischer Seefahrer, Namens Richard Simpson, nach den Falklandsinseln gelangte und dort Füchse fand, die ihm nicht verschieden schienen von ihren Vettern an dem patagonischen Festlande, regte ihn dies zu folgenden Betrachtungen an: „Da es nicht wahrscheinlich ist, dafs sie von Amerika herüberschwammen und noch weniger, dafs irgend jemand um ihre Verbreitung nach den Inseln sich bemüht haben sollte, so mufs man aus ihrem Vorkommen schliefsen, entweder dafs sie doppelt, nämlich in Amerika und auf den Inseln, erschaffen worden seien oder dafs die letzteren ehemals mit Südamerika zusammenhingen.“ Wir gewahren also, dafs schon der wackere Simpson wegen der Verbreitung einer Säugetierart eine ehemalige trockene Verbindung der Falklandsinseln mit Amerika vermutete. Die beobachtete Thatsache, die er anführt, kann uns freilich gegenwärtig nicht mehr beunruhigen; denn auf Eisbänken vermögen sich Landtiere sehr weit über das Wasser zu verbreiten; kommen doch gelegentlich Eisbären von Grönland herab bis nach Neufundland! Dafs patagonische Füchse auf Eisschollen nach den Falklandsinseln übersetzten, erscheint uns nicht ganz unmöglich, zumal die jetzt herrschenden Seeströmungen eine solche Verfrachtung begünstigen. Übrigens mufs eine lange Zeit verflossen sein, dafs sie die Inseln bewohnen, da sich der Falklandsfuchs von dem patagonischen durch Artenmerkmale ein wenig unterscheiden soll, so dafs also in diesem Falle die Falklandsgruppe zu den alten Inseln gerechnet werden müfste, weil jene Artenwandlung eine lange Zeitdauer erfordert haben würde. Wollte dagegen jemand, was der alte Simpson noch für möglich halten durfte, an einen doppelten Schöpfungsakt glauben und überhaupt so viele Einzelschöpfungen annehmen, als wir Tausende und Abertausende von Inseln zählen, dann hört für ihn überhaupt die Möglichkeit auf, aus der Verbreitung der Tier- und Pflanzenarten irgend etwas über die Schicksale ihrer heutigen Wohnstätten zu ermitteln. Uns gilt dagegen, wenn nicht als völlig erwiesen, doch durch alle Erscheinungen im grofsen bekräftigt, dafs jede Tier- und Pflanzenart von einem Ursprungsorte, dem sogenannten Verbreitungscentrum, ausging und ihre Nachkommen so weit aussendete, als sie die Bedingungen für ihr Dasein günstig fanden, oder bis sich ihnen irgend eine natürliche Schranke entgegensetzte, sei es ein Meer, eine Wüste, ein hohes Gebirge, oder dafs sie Gebiete erreichten, die so dicht bevölkert waren mit rüstigen Geschöpfen, dafs sie ihnen keinen Raum abgewinnen konnten. Eine solche Ausbreitung der Gewächse und Tiere kann natürlich nur auf dreifache Weise erfolgen: entweder sie

wandern, oder sie fliegen, oder sie schwimmen. Wenn wir also später von wandernden Säugetieren sprechen sollten, so wird man solche verstehen, die weder schwimmen wie Walfische oder Robben, noch fliegen wie die Fledermäuse.

Hebt sich nun durch Aufschüttung von Vulkanen oder durch den Bau von Korallen eine Insel kahl und unbevölkert über die Meeresfläche, so kann sie offenbar nicht von Tieren und Pflanzen erreicht werden, die sich nur durch Wanderung verbreiten. Schlangen, Kröten und Frösche wandern; aber sie fliegen und sie schwimmen nicht; ja der Frosch- und Krötenlaich wird obendrein vom Seewasser rasch zerstört. Sie vermögen also neu aufgetauchte Inseln nicht zu erreichen, es käme ihnen denn der Zufall, d. h. eine seltene Verknüpfung günstiger Gelegenheiten, zu statten, wie wir davon etliche Beispiele sogleich anführen werden. Wäre also unsere Anschauung von der Jugend der Koralleninseln richtig, so könnte sich auf den polynesischen Atollen weder eine Schlange, noch ein Frosch, noch eine Kröte befinden, ja nicht einmal vierfüfsige Tiere, es seien denn solche, welche die Menschen als Zuchttiere mitgebracht hätten oder die ihnen bei ihren Seefahrten verstohlen zu folgen pflegen, wie es von den Ratten geschieht.

Und in der That ist es genau so, wie wir es geschildert haben, und nicht blofs auf den jugendlichen Koralleninseln, sondern selbst auf einigen alten Gerüsten von Inselvulkanen. Schon Bougainville wunderte sich, auf Tahiti keine anderen Säugetiere anzutreffen als Ratten, Schweine und Hunde, welch letztere gemästet, ja von den Frauen an den Brüsten genährt wurden, also zu den Haustieren gehörten. Noch schärfer fafste diese Verhältnisse der unvergefsliche Johann Reinhold Forster, der Begleiter Cooks auf seiner zweiten Reise, auf. Nur die Klassen der Vögel und Fische, bemerkte er, habe man auf den Inseln der Südsee zahlreich gefunden, von Amphibien nur sechs Arten, nämlich zwei Schildkröten, zwei Wasserschlangen und zwei Eidechsen (Lacerta agilis und L. Gecco), sämtlich auch anderwärts bekannt[1]). Weniger Insektenarten, heifst es an einer anderen Stelle, als die Südsee-Inseln hervorbringen, werde man schwerlich anderwärts antreffen; nur den gemeinsten und bekanntesten Gattungen sei er begegnet; doch zeichne sich Neu-Caledonien darin wesentlich aus[2]). Seit Forsters Zeit ist die Erforschung der oceanischen Inseln beträchtlich fortgeschritten; doch haben alle neueren Untersuchungen den allgemeinen Eindruck unseres grofsen Naturforschers nur

[1]) J. R. Forster, Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt. Berlin 1783. S. 172.

[2]) J. R. Forster, l. c. S. 173 f.

bestätigt. So konnte Finsch auf den Marshall-Inseln 20, auf den Gilbert-Inseln 19 Arten Vögel nachweisen, von denen die meisten Zugvögel sind, während die echten Landvögel hier durchaus vermifst werden. Reptilien, und zwar nur Eidechsen, besitzt die Marshall-Gruppe 8, die Gilbert-Gruppe 5 bis 6 Arten [1]). Die Behauptung Borys de St. Vincent, dafs auf den vulkanischen Inseln des Grofsen Oceans keine Batrachier (Frösche und Kröten) vorkommen sollen, fand Darwin auch für die Galápagos-Gruppe gültig, welche doch so nahe an Süd- und Centralamerika liegt und bis zu welcher sich sogar die Eidechsen verbreiten konnten, deren Eier freilich durch ihre Kalkschale besser vor der Zersetzung durch das Seewasser geschützt sind. Die Abwesenheit von Landschlangen auf den Südsee-Inseln wurde von H. Schlegel in seiner Herpetologie ebenfalls bestätigt. Die Marianen erschienen ihm als ihre äufserste östliche Grenze, und er setzte daher Zweifel in die Angabe Lessons, dafs sie sich auf Ualan (Carolinen) und auf Rotuma (Viti-Archipel) finden sollen [2]). Bei einer genauen Bekanntschaft mit der Viti-Gruppe hat man freilich 10 Arten von Landschlangen und sogar einen dort einheimischen Frosch (Platymantis Vitianus) entdeckt. Wahrscheinlich ist diese Inselgruppe ein Überrest eines alten, ins Meer gesunkenen Erdteils (vgl. hierzu auch S. 538).

Wenn sich übrigens auf älteren vulkanischen Inseln vergleichsweise viele Insekten zusammengeschart haben, so darf uns dies nicht wunder nehmen. Wie aufserordentlich weit geflügelte Insekten auf hoher See sich verbreiten, davon überzeugte sich Joseph Banks, als er am 1. März 1769 mit Kapitän Cook unter 38° 44′ s. Br. und 110° w. L. von Greenwich vom nächsten Land, nämlich von der Osterinsel, 170 geogr. Meilen entfernt war und beim Ausbalgen von Vögeln, die man auf hoher See geschossen hatte, zwei ihm unbekannte Fliegen, wie sie sich in Wäldern aufzuhalten pflegen (forest-flies), entdeckte, die also wahrscheinlich mit den Vögeln selbst auf das Schiff gekommen waren. Sir Edward Parry fand auf seiner denkwür-

[1]) Petermanns Mitteilungen 1880, S. 371.

[2]) Dafs Landschlangen bisweilen als Seefahrer, ferne Inseln erreichen können, dafür liegt wenigstens eine gute Beobachtung vor. Nach der antillischen Insel S. Vincent kam einst eine Boa constrictor, um einen frisch abgerissenen Cedernstamm geringelt, angeschwommen. Glücklicher Weise wurde sie bemerkt und sofort getötet. Wäre es ein trächtiges Weibchen gewesen, so hätte sich dieses gefährliche Raubtier des südamerikanischen Festlandes auf jener Insel verbreiten können. Die furchtbare Lanzenschlange wurde auf Martinique und S. Lucia durch Menschen unbeabsichtigt eingeführt. Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. London 1875. Vol. II, p. 369 sq.

digen Schlittenbootreise nach dem Nordpol am 18. Juni 1827 unter lat. 82° 27′ ein paar kleine Fliegen auf dem Eis und ein anderes Mal eine Biene. Ferdinand v. Hochstetter hat den Distelfalter nicht nur in allen in fünf Weltteilen, sondern selbst auf dem insektenarmen Neuseeland gefangen. Nur solche Schmetterlinge vermögen sich übrigens weit zu verbreiten, deren Larven nicht wählerisch im Futter sind. Bisweilen herrscht sogar zwischen der Schmetterlingsbevölkerung zweier nahe gelegenen Inseln die gröfste Verschiedenheit. So haben Borneo und Java etwa zwei Drittel ihrer echten Papilioniden gemeinsam; während aber von den 21 sumatranischen Arten dieser Gattung nicht weniger als 20 auch auf Borneo sich finden, stimmt Sumatra mit dem viel näheren Java nur bei 11 Arten überein. Es hing nämlich ehemals Java mit Borneo, Borneo mit Malaka, Malaka mit Bangka und Sumatra zusammen; mittelbar bildeten sie also ein Ganzes, womit nicht gesagt ist, dafs wieder die einzelnen Inseln unmittelbar mit einander verbunden gewesen wären. Zuerst trennte sich Java von Borneo, dann Bangka von Malaka, dann Malaka von Borneo und später von Sumatra [1]).

Die strengen Untersuchungen Wallaces über den Indischen Archipel [2]), deren Endergebisse wenigstens für die westliche Hälfte desselben soeben mitgeteilt wurden, sind in so hohem Grade lehrreich, dafs wir es uns nicht versagen können, wenigstens einige Hauptzüge aus ihnen noch hervorzuheben. Wir erkennen hier deutlich, wie durch die frühere oder spätere Losreifsung der Inseln von dem Kontinent ihrer Tierwelt ein bestimmter Charakter aufgeprägt wurde. Auf der Zinninsel Bangka haust ein eigentümliches Eichhörnchen (Sciurus bangkanus); ebenso sind dort ganz besondere Bodendrosselarten aus der Gattung Pitta heimisch. Daraus schliefst Wallace, Bangka möchte vielleicht in einer früheren Zeit Insel geworden sein als Borneo oder Sumatra, oder es gehörte noch eine Zeit lang zu der bis Bangka und Billiton verlängerten Halbinsel Malaka, nachdem sich Sumatra und Borneo als Inseln von derselben losgelöst hatten [3]). Dies wird noch glaubhafter dadurch, dafs das vor Bangka nächstliegende Land, nämlich das Gebiet um Palembang, junger, aufgeschwemmter Marschboden ist und Bangkas Gebirge wiederum aus Granit und Laterit bestehen, genau wie die Höhenzüge der Halbinsel Malaka, mit denen

[1]) Alfred Russel Wallace, The Malay Archipelago. London 1869. Vol. I, p. 19.

[2]) A. R. Wallace: On the physical Geography of the Malay Archipelago in dem Journal of the R. Geogr. Society of London 1863, p. 217—234, weiter ausgeführt in dessen Malay Archipelago. London 1869.

[3]) Vgl. hierzu auch A. R. Wallace, Island Life. London 1880. p. 360.

es zusammenhing. Haben Sumatra und Borneo, allem Anschein nach, ehemals nur über die Halbinsel Malaka eine trockene Verbindung besessen, so ist es noch lehrreicher, daſs Sumatra wohl mit Borneo in seinem Schöpfungsinventar so vielfach übereinstimmt, von dem so dicht benachbarten Java dagegen sich weit entfernt. Sumatra und Borneo haben den Elefanten, den Tapir, den malayischen Bär gemeinsam, die auf Java fehlen. Eine Menge Vögel, die Sumatra, Malaka und Borneo gemeinsam sind, fehlen auf Java; dafür hat dieses wieder eine Menge eigener Arten. Von seinen 7 Tauben besitzt Sumatra nur eine; von seinen 2 Papageien (parrot, Psittacus) hat Sumatra keinen, Borneo nur einen einzigen aufzuweisen. Von 15 sumatranischen Spechten gehen nur 4 nach Java, aber 8 nach Borneo und 12 nach Malaka hinüber.

Auch Gewächse können neu auftauchende Inseln nur schwimmend oder fliegend erreichen. Zum Fliegen sind die Samen mancher Arten mit Flügeln, Federbüschen, Haarkronen und kleinen Fallschirmen versehen. Doch darf man, wie der jüngere De Candolle gewarnt hat, die Tragweite dieser Bewegungswerkzeuge nicht überschätzen. Es ist übrigens gar nicht nötig, daſs die Samen selbst fliegen, sondern sie können auch zu ihrer Luftfahrt Vögel benutzen. So hat Charles Darwin die Thatsache mitgeteilt, daſs aus einem Ballen Erde am Schenkel eines Rebhuhns nicht weniger als 82 Pflanzen verschiedener Arten aufgingen. Wir wissen ferner, daſs manche Früchte von Vögeln gefressen und unverdaut wieder ausgeschieden werden. Viele solcher Samen gehen durch den Darmkanal der Tiere, ohne ihre Lebenskraft zu verlieren; ihre harte Schale wird vielmehr durch die Beize des Magensaftes zu Gunsten des Keimes erweicht. Um junge Weiſsdornpflanzen schneller aufzuziehen, bemerkt Karl Nägeli, giebt man in England ihre Früchte den Truthühnern zur Nahrung und säet dann den Vogeldünger mit den darin enthaltenen Samen aus, welche nach dieser Behandlung sogleich zu keimen beginnen. Dagegen können Pflanzenarten nur dann die See durchschwimmen und ferne Inseln bevölkern, wenn ihre Samen im Salzwasser die Keimkraft nicht verlieren. Zu den wenigen in diesem Sinne begünstigten gehört bekanntlich die Kokospalme, deren Nüsse weite Seereisen ungefährdet zurücklegen, daher denn auch jene Palme zu den frühesten und gemeinsten Erscheinungen auf den Koralleninseln zählt. Pflanzensamen können übrigens vermittelst eines Fahrzeuges, das heiſst getragen von einem schwimmenden Baumstamm, gröſsere Seereisen mit geringerer Lebensgefahr überstehen. Aber nicht bloſs Holz, sondern selbst Mineralien vermögen ihnen bisweilen den Dienst eines Floſses zu erweisen. Als Bates den unteren Amazonas beschiffte, überraschte ihn eine

Menge Bimssteinbrocken, welche nach dem Atlantischen Meere hinausschwammen. Es waren dies Auswürflinge eines Vulkanes der quitonischen oder peruanischen Anden, welche die Quellflüsse des grofsen Stromes vielleicht mehr als 500 geogr. Meilen verfrachtet hatten. Verbargen sie, wie es nicht anders zu erwarten war, Pflanzensamen, so konnten diese bis zum Meer hinaus, ja mit dem Küstenstrom der süfsen Amazonaswasser bis nach Guyana und weiter gelangen, und ihr gleichzeitiges Vorkommen an den atlantischen Gestaden und in den äquatorialen Cordilleren hätte dann zu den grofsen Rätseln der Pflanzengeographie gehört, wenn das seltsame Verkehrsmittel noch nicht von einem Naturforscher beobachtet worden wäre.

Von den 120- bis 180000 Arten blühender Pflanzen, die man zu benennen und zu unterscheiden versucht hat, geniefst aber nur ein unendlich kleiner Bruchteil die Vergünstigung, fliegend oder schwimmend sich zu verbreiten; alle übrigen Arten sind gewandert. Junge Inseln müfsten daher, wenn unsere Vorstellungen mit der Natur übereinstimmen, erstens sehr arm an Gewächsarten sein; zweitens müfsten die vorhandenen Gewächsarten sich anderswo und zwar am nächstgelegenen Festlande finden[1]). In der That verhält es sich auch genau so, wie man von vorn herein vorauszusetzen geneigt wäre. Darwin fand auf den Keeling-Inseln im Südwesten der Sundastrafse nur 20 Gewächsarten; nicht mehr Arten konnte Johann Reinhold Forster auf der vulkanischen Osterinsel einsammeln. Anderson, der Begleiter Cooks auf seiner dritten Reise, zählte auf Kerguelen, einer alten Vulkaninsel, 18 Pflanzenarten einschliefslich mehrerer Flechten. Als Hooker mit dem jüngeren Rofs die nämliche Insel besuchte, entdeckte er noch etliche andere phanerogame Gewächse, so dafs sich die Zahl der blühenden Pflanzen auf 18 hob[2]). Infolge der neuen Durchforschung der Insel durch die Mitglieder der englischen Venusexpedition (1874) hat sich diese Zahl immerhin nur auf 21 erhöht; daneben wurde allerdings eine erstaunliche Fülle von Kryptogamen (74 Moose, 25 Lebermoose, 61 Lichenen, 71 Meeresalgen, 106 Süfswasseralgen, sowie ausserdem 9 Pilze) entdeckt[3]). Die südlich von Kerguelen gelegenen Macdonald-Inseln beherbergen nur Pflanzen, welche

[1]) Vgl. hierzu die vortreffliche Arbeit L. Knys „Über die Flora oceanischer Inseln“ in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Bd. II (1867), S. 208—227.

[2]) London Journal of Botany 1843, p. 263.

[3]) Philosophical Transactions of the R. Soc. of London. Vol. CLXVIII (1879), p. 9—94.

auf Kerguelen heimisch sind[1]). Die kleine Insel Ascension im Atlantischen Ocean zählte nach Darwin[2]) zur Zeit ihrer Entdeckung keine 6 Phanerogamenarten. Die Insel St. Paul im Atlantischen Ocean, beinahe in der Mitte zwischen der südamerikanischen und afrikanischen Küste, weist keine anderen Pflanzen auf als Algen, welche durch 14 Species vertreten sind[3]). Auf der Chatham-Insel der Galápagos-Gruppe konnte Darwin nur 10 Pflanzenarten sammeln, und ihr Ansehen erschien ihm so kümmerlich, als ob sie der Flora des Polarkreises und nicht der des Äquators angehört hätten. Freilich sollten wir von vorn herein darauf gefafst sein, einer gewissen Armut an Arten auf kleinen Inseln zu begegnen; denn je enger der Raum, desto weniger Mannigfaltigkeit wird in der Schöpfung herrschen. Die Atollinseln der tropischen Meere zumal sind eine ungastliche Stätte für die Gewächse. Auf ihrem Korallensande gedeihen vorzugsweise nur kalkliebende Pflanzen; die Brandung erstürmt nicht selten ihren Standort, und in der Luft zerstäubt das Salzwasser. Vielen Pflanzen mag das erwünscht sein; den meisten aber bringt es sicheren Tod. Wenn wir indessen hören, dafs Ramond auf dem Gipfel des Pic du Midi de Bagnères auf einer Oberfläche von 200 Quadratmetern nicht weniger als 71 Blütengewächse fand, dafs auf den eintönigsten Mooren Schottlands auf einer englischen Quadratmeile 50 bis 100 Gewächsarten blühen und selbst in der Umgebung von London, deren botanische Dürftigkeit sehr grofs ist, immerhin noch 400 blühende Pflanzen auf einer englischen Quadratmeile angetroffen werden, so mufs uns die Armut der jungen Inseln an Arten ein Beweis sein, dafs sie ihre vegetabilische Bevölkerung nur der Gnade seltener Zufälligkeiten verdanken.

Viel bedeutsamer ist aber noch ein anderer Umstand. Setzt man die Zahl der bekannten Arten blühender Pflanzen auf 150000 an, so kommen auf eine Gattung im Durchschnitt 12 und auf eine Familie im Durchschnitt 300 Arten. Auf den grofsen Weltinseln und selbst auf den gröfseren Inseln findet man in der Regel die Gattungen durch mehrere Arten vertreten. Der Artenreichtum der Gattungen nimmt gewöhnlich von einem inneren Herde nach der Peripherie ab. Auf den Keeling-Inseln, die immer als das beste Beispiel von den jungen Koralleninseln gelten können, gehören die 20 vorhandenen Pflanzenarten 19 verschiedenen Gattungen und 16 verschiedenen Familien an. Wir gewahren also, dafs hier Gattungen und Familien nur durch wenige Arten vertreten sind, weil es nur ausnahmsweise vorkommt,

[1]) Petermanns Mitteilungen 1874, S. 461. Behms Geographisches Jahrbuch. Bd. VI (1876), S. 284.

[2]) Origin of Species. London 1861. p. 420.

[3]) Nature. Vol. IX, Nr. 232 (9. April 1874), p. 450.

dafs Pflanzensamen schwimmend oder fliegend eine ferne Insel zu erreichen vermögen. Auch finden wir die Gewächse der Keeling-Inseln sämtlich auf den nahen Sunda-Inseln und in Australien wieder, weshalb man mit Recht solche Inseln als Asyle oder Zufluchtsstätten versprengter oder gestrandeter Gewächsarten bezeichnet hat. Die Vegetation der oceanischen Inseln trägt überhaupt, trotz mancher Sonderheiten im einzelnen, doch meistens die Charakterzüge der benachbarten kontinentalen Vegetationsgebiete an sich. So ist die Flora der Azoren mit der von Südeuropa sehr nahe verwandt, die der Bermudas mit derjenigen der südlichen Vereinigten Staaten und der Bahama-Inseln. In ähnlichen Beziehungen zu einander stehen die Canarischen und Kapverdischen Inseln zur Westküste von Afrika und die Galápagos-Inseln, obwohl ihre Pflanzenformen gröfstenteils specifisch verschieden sind von denen des benachbarten Festlandes, zur Westküste Südamerikas[1]).

Nicht selten zeigt die Flora der Inseln auf hoher See die gröfsten Ähnlichkeiten mit den Gewächsen derjenigen Ländergebiete, welche ihnen durch die herrschenden Luft- und Meeresströmungen Muster ihrer Arten zusenden können. So sind die Gewächse von St. Helena und Ascension viel weniger denen des tropischen Afrika als denen der Kaplande ähnlich, obgleich die letzteren viel ferner liegen; Passatwinde und Meeresströmungen verbinden sie aber viel besser mit Südafrika als mit den näherliegenden äquatorialen Teilen dieses Kontinentes. Das südatlantische Tristan da Cunha gleicht durch seine Gewächse, wie Hooker gezeigt hat, dem Feuerlande weit mehr als Afrika, und dies ist sogar mit der Kerguelen-Insel im südindischen Ocean der Fall, obwohl diese von Südamerika dreimal so weit entfernt ist als vom Kaplande. Wahrscheinlich vermitteln mit samenhaltiger Erde beladene Eisberge, welche von den Gletschern des Feuerlandes in östlicher Richtung ihren Weg nehmen, den Transport der vegetabilischen Kolonisten nach den Inseln des südindischen Oceans[2]). Die nordostwärts von Kerguelen gelegene Insel Neu-Amsterdam beherbergt eine Anzahl Pflanzen (Phylica arborea, ferner Spartina arundinacea, eine hohe Graminee, und von den Farnen eine Lomaria), die aufserdem nur noch auf Tristan da Cunha wachsen; auch in diesem Falle sind wir darauf hingewiesen, in den Meeresströmungen die Träger der betreffenden Keime zu vermuten[3]). Für die Verbreitung der Vögel sind ins-

[1]) L. Kny, l. c. S. 212.

[2]) L. Kny, l. c. S. 212. A. Grisebach, Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 548.

[3]) A. Grisebach in Behms Geographischem Jahrbuch. Bd. VI (1876), S. 282 ff.

besondere Stürme von aufserordentlicher Wichtigkeit. Durch sie empfangen z. B. die Azoren und Bahamas noch jetzt zahlreiche beflügelte Einwanderer von Südeuropa, bez. von den südlichen Vereinigten Staaten, obwohl diese Gebiete 220, resp. 180 geogr. Meilen von jenen Inselgruppen entfernt sind. Dagegen zeigt die Vogelfauna der nur selten von Stürmen umtobten Galápagos eine überraschende Selbständigkeit trotz der geringeren Entfernung von der nächsten Festlandsküste (150 geogr. Meilen) und trotz der von dem südamerikanischen Gestade her treibenden Wind- und Meeresströmungen. Auf den Galápagos stellen die meisten Vögel eigentümliche Arten dar; ja selbst die Mehrzahl der dort vertretenen Gattungen kommt ausschliefslich auf dieser Inselgruppe vor [1]).

Charles Darwin wollte gefunden haben, dafs diejenigen Inseln der Südsee, von denen man weifs, dafs sie gegenwärtig oder in der jüngsten Vergangenheit eine Hebung erlitten haben, reicher an Pflanzenarten sein sollen als diejenigen, von denen man weifs, dafs sie sinken. Es zeigt sich indessen, dafs die Tonga-Inseln, welche zu den aufsteigenden gehören, keinen gröfseren Reichtum an Arten besitzen als die allem Anschein nach sinkende oder wenigstens ruhende Vitigruppe, und das Nämliche lehrt ein Vergleich der Pflanzenwelten auf den Neuen Hebriden und auf Neu-Caledonien, von denen die einen steigen, das andere sinkt. Das Wahre an der Beobachtung Darwins liegt wohl darin, dafs hohe Inseln wegen der Verschiedenheit ihrer Standörter weit mehr Gewächsarten eine Zufluchtsstätte bieten können als die niedrigen Koralleninseln. Da nun die meisten hohen Inseln Vulkane tragen und unter der Mehrzahl der vulkanischen Inseln eine Hebung bemerkt wird, so lag es sehr nahe, der Hebung zuzuschreiben, was der senkrechten Gliederung zukommt.

Alte Inseln werden immer einen gröfseren Reichtum an Arten besitzen als junge, schon deswegen, weil die alten Inseln auf hohem Meere entweder die Reste von Festlanden oder die Gerüste einst thätiger Vulkane, also hohe Inseln sind, während die niedrigen Koralleninseln zu den jungen Schöpfungen gehören. Eine je längere Zeit verstrich, seit sich eine Insel von der Sohle des Oceans durch vulkanische Kräfte bis in den Luftkreis erhob, desto reicher wird sie an Gewächsarten sein, weil in einem langen Zeitraum die zufällige Verknüpfung günstiger Umstände zur überseeischen Versendung von Pflanzenindividuen öfter wiedergekehrt sein mufs. Wäre diese Voraussetzung richtig und gäbe es alte Inseln, die schon in der tertiären Zeit aus

[1]) Alfred Russel Wallace, Island Life. London 1880. p. 263. 270 sq. 273.

dem Schofse des Meeres gehoben wurden, so müfsten Gewächse jener geologischen Vorzeit schwimmend oder fliegend sich in ihren Schofs gerettet und sie müfsten auf solchen Inseln nicht blofs eine gastliche Aufnahme, sondern auch Schutz vor den Feinden der geologischen Gegenwart gefunden haben, die auf den Festlanden nach und nach ihre Art bis auf die letzten Einzelwesen vertilgten. Und in der That ist es auch genau so, wie man es voraussetzen durfte. Der grofse Züricher Paläontolog Oswald Heer sah sich auf Madeira in die botanische Tertiärzeit versetzt; er fand dort Pflanzentrachten, welche die Flora der Kontinente längst schon abgelegt hat, altertümliche Organismen, für welche Darwin den glücklichen Ausdruck gebraucht, es seien „lebendige Petrefakten". Bemerkenswert ist in unserem Falle noch, dafs die meisten der hier vorkommenden Gattungen jetzt dem amerikanischen Kontinent, viel weniger dem europäischen, asiatischen und afrikanischen Festlande eigentümlich sind. Zu den „altmodischen" Pflanzengestalten auf Madeira, den Canarien und den Azoren gehören die Clethra- und Persea-Arten, die sonst nur in Amerika angetroffen werden. Uralt, vielleicht der letzte reine Überrest der Miocänflora, ist die Monizia edulis Madeiras; sie gehört zu einer Gattung, die sonst nirgends in der Welt noch einen Vertreter besitzt, und erscheint uns gewissermafsen wie „ein Märchen aus alten Zeiten". Sie ist eine Umbellifere mit einem Stamme wie ein umgekehrter Elefantenrüssel, gekrönt mit einem Büschel, dessen Laub der Petersilie gleicht[1]). Welches Schicksal derartigen Pflanzen droht, werden wir später an mehreren Beispielen zeigen. Hier wollen wir nun im voraus bemerken, dafs von den Tieren dasselbe gilt wie von den Gewächsen und von den Menschen dasselbe wie von den Tieren. Wenn der Rassentod alle Urbewohner der Südsee-Inseln, ja selbst einer Weltinsel wie Australien, vielleicht noch vor Ablauf des gegenwärtigen Jahrhunderts vertilgt haben wird, so kann man auch von allen diesen Menschenstämmen behaupten, sie seien, als sie mit den Kontinentalvölkern wieder in Berührung kamen, nichts anderes gewesen als beseelte Fossilien.

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th ed. (1875). Vol. II, p. 422 sq. Es soll hier nochmals darauf hingewiesen werden, dafs Madeira zwar eine sehr alte Insel, aber doch wohl keine echte Vulkaninsel ist. Dafür spricht nicht allein der geologische Bau der Insel (vgl. S. 538), sondern (nach Heer) auch die Thatsache, dafs sich bereits zur Diluvialzeit europäische Pflanzen, besonders aber europäische Schnecken auf Madeira vorfanden. Dies würde auf eine Landverbindung mit Portugal hinweisen, zu welcher allerdings die gegenwärtigen Meerestiefen von mehr als 1000 Faden nicht gut passen. Vgl. hierzu Adolf Engler, Versuch einer Entwicklungsgeschichte der Pflanzenwelt. Leipzig 1879. Bd. I, S. 76.

Inseln, die sich von einem Festlande ablösten, müssen sich umgekehrt verhalten denen gegenüber, welche dem Schofse des Meeres entstiegen sind. Je jünger solche Trümmer der Kontinente sind, um so reicher, je älter und je kleiner, um so ärmer werden sie an Tier- und Pflanzengestalten werden. Zu den frisch abgelösten Inseln haben wir die britischen gerechnet. Auf denselben treffen wir im allgemeinen dieselben Tier- und Pflanzenformen wie auf dem Kontinent, wenngleich in dieser Hinsicht durchaus nicht jene völlige Übereinstimmung besteht, wie sie selbst gegenwärtig noch vielfach angenommen wird. Die britischen Säugetiere, Reptilien und Amphibien weisen allerdings keine eigentümlichen Arten auf; dagegen finden sich unter den Vögeln zweifellos drei ausschliefslich englische Arten, bez. Spielarten, nämlich 2 Meisen (Parus britannicus und Parus rosea) und ein Schneehuhn (Lagopus scoticus). Ferner sind 15 Süfswasserfische lediglich auf die britischen Inseln, besonders auf gewisse irische und schottische Seen beschränkt. Von den 69 Schmetterlingen und 72 Käfern, welche hier gleichfalls endemisch sein sollen, mögen vielleicht gar manche auch auf dem Kontinent unbekannter Weise existieren; immerhin dürfte die Mehrzahl derselben sich nicht über den Kanal verbreiten. Die britischen Blütengewächse sind bis auf 4 Varietäten (Helianthemum Breweri, Rosa hibernica, Oenanthe fluviatilis und Hieracium iricum) sämtlich mit denen des Kontinents identisch; dagegen sind 17 Laub- und 9 Lebermoose nach dem gegenwärtigen Stand unserer Erkenntnisse als rein englisch zu betrachten. Die britischen Inseln sind also trotz ihrer neueren Verbindung mit dem Festlande für eine nicht geringe Anzahl von älteren organischen Formen eine schützende Zufluchtsstätte gewesen [1]).

Aufserdem unterscheidet sich die Pflanzen- und Tierwelt der britischen Inseln noch in einem anderen Punkte von der des benachbarten Festlandes: sie entbehrt zahlreicher Arten. Wallace begründet diese Thatsache mit Rücksicht auf die früheren geologischen Schicksale der britischen Inseln folgendermafsen: Während der Eiszeit ragten nur die dortigen Gebirge über den Seespiegel empor, da das Land c. 600 Meter tiefer lag als gegenwärtig. Bei der Rauheit des damaligen Klimas vermochten nur wenige Tier- und Pflanzenformen auf jenen Inselbruchstücken ihr Dasein zu retten. Hierauf begann die Hebung: die Ebenen tauchten nach und nach über der Meeresfläche auf und bildeten endlich sogar eine Brücke nach dem Kontinent. Doch blieb diese nicht allzulange bestehen; sie wurde gegen Ende der Eiszeit ab-

[1]) Vgl. hierzu die vortrefflichen Ausführungen in A. R. Wallaces Island Life. London 1880. p. 320—347.

gebrochen, bevor noch ein völliger Austausch aller Tier- und Pflanzengeschlechter möglich war. Daher vermissen wir in England besonders viele von denjenigen Tieren, welche bei ihren Wanderungen streng an die Landroute gebunden sind, also namentlich Säugetiere und Reptilien. Während Deutschland nahezu 90 Arten und selbst Skandinavien gegen 60 Arten von Landsäugetieren aufweist, besitzt deren Grofsbritannien nur 40 und Irland sogar nur 22. In Irland fehlt z. B. der Hase, das Eichhorn, das Murmeltier, der Hausmarder, der Maulwurf, die in England vorkommen. Noch deutlicher zeigt sich die Lückenhaftigkeit der britischen Fauna bei den Reptilien und Amphibien; denn von diesen hat Belgien 22 Arten, Grofsbritannien 13, Irland nur 4. Immerhin ist das Tierleben Irlands noch ein äufserst reiches gegen das der kleinen Färöer. Sie beherbergen aufser einigen Arten der Gattung Mus, welche den Schritten des Menschen überall hin folgen, keine in der Freiheit lebenden Säugetiere; Reptilien und Amphibien aber werden hier gänzlich vermifst. Die Irische See ist wesentlich tiefer als die Nordsee; die irische Landbrücke war demnach wahrscheinlich von geringerer Breite und kürzerer Dauer als die nach Grofsbritannien führende, d. h. sie bot weniger günstige Vorbedingungen zur Einwanderung, woraus sich die zoologische Armut Irlands leicht erklärt. Bei denjenigen Tieren, welche sich durch Flug verbreiten und somit eine längere Frist für die Wanderzüge nach Inselräumen geniefsen, gelangt dies weniger zur Geltung. So hat Irland 7 Arten von Fledermäusen, Grofsbritannien 12, Irland ca. 110 Arten von Landvögeln, Grofsbritannien gegen 130. Dagegen gestaltet sich das Verhältnis bei den Pflanzen, die ja im Durchschnitt weniger wanderfähig sind, wieder etwas ungünstiger; denn auf Irland finden sich nur 970 Blütengewächse und Farne, in Grofsbritannien hingegen 1425[1]).

Die Mannigfaltigkeit der Geschöpfe auf Inseln mufs sich aber auch deswegen verringern, weil keine aussterbende Art durch Zuwanderung aus einer festländischen Zufluchtsstätte sich von neuem wieder ausbreiten könnte. Bisweilen raffen geheimnisvolle Zerstörungsursachen Tiergeschlechter hinweg. Wir erinnern an das jähe Verschwinden des flügellosen Alk (Alca impennis), der in Nordeuropa noch im Mittelalter alle Küsten in grofsen Scharen bevölkerte und der jetzt ganz verschwunden ist[2]). Tritt ein solcher Tod auf dem Festlande ein und erhalten sich an einer geschützten Örtlichkeit nur wenige Individuen, so kann an eine Wiederbevölkerung nach Abzug der zer-

[1]) A. R. Wallace, l. c. p. 318—320.

[2]) Vgl. G. G. Winkler, Island. Seine Bewohner, Landesbildung und vulkanische Natur. Braunschweig 1861. S. 16 f.

störenden Ursache gedacht werden; erlischt aber eine Gewächs- oder Tierart auf einer Insel durch einen Massentod, so kehrt sie nie wieder, wenn sie weder fliegt, noch schwimmt, noch ein seltener Zufall ihr zu statten kommt. Die cimbrische Halbinsel war ehemals mit Nadelhölzern bewachsen, die jetzt von Laubholz völlig verdrängt worden sind. So lange sie Halbinsel bleibt, stünde einer Rückwanderung der Nadelhölzer nichts im Wege; würden sich jedoch vorher Jütland und Schleswig als Inseln abtrennen, dann wären bedenkliche Schwierigkeiten vorhanden. Wären die britischen Inseln seit Mitte der Eiszeit schon Inseln gewesen und wären damals alle Pflanzen und Tiere bis auf die arktischen zu Grunde gegangen, so hätten nach der überstandenen Eiszeit die Geschöpfe wärmerer Klimate wohl nach Nordeuropa, nicht aber, oder nur teilweise, nach den britischen Inseln zurückwandern können. Da dies nun wirklich geschehen ist, so darf man schliefsen, dafs der Einbruch der Nordsee und der Durchbruch des Ärmelkanals erst nach dem Abzuge der Eiszeit erfolgten. Aus obigen Erwägungen erklärt sich auch die Artenarmut der Küsteninseln Schottlands, die dem jüngeren De Candolle aufgefallen war.

Kleine Inseln, die durch Spaltungen sich von gröfseren Festlandsmassen ablösen, müssen auch noch aus einem anderen Grunde rasch verarmen. Eine Ablösung bringt nämlich stets auch klimatische Änderungen mit sich: die Winter werden milder, die Sommer kühler, die Niederschläge häufiger. Eine Menge festländischer Gewächse vermag den Übergang zu dem Inselklima nicht zu überstehen; sie gehen daher unter und mit ihnen die von ihnen abhängige Tierwelt. Was auf Inseln untergeht, läfst sich aber schwer ersetzen, während auf dem Festlande durch Wandern Pflanzen und Tiere ungünstigen Wechseln entfliehen und nach Rückkehr besserer Zeiten ihre alte Heimat wieder aufsuchen können. Dadurch rechtfertigt sich wiederum, dafs der ältere De Candolle ein Vorwalten der Feuchtigkeit liebenden Monokotyledonen vor den Dikotyledonen auf Inseln wahrnahm. Es beträgt nämlich das Verhältnis dieser beiden Klassen der Gewächse:

		auf dem nächsten Festlande	
auf Jamaica	100 : 194,	unter gleicher Breite	1 : 4
„ St. Helena	100 : 103,	„ „ „	1 : 4
„ Tristan da Cunha .	100 : 49,	„ „ „	1 : 3.

Geräumige Inseln verhalten sich indessen wie die Festlande; denn sie werden ihren Bewohnern immer eine gröfsere Anzahl von begünstigten Zufluchtsstätten bieten. Wenn daher Schouw[1]) Island

[1]) Grundzüge einer allgemeinen Pflanzengeographie. Berlin 1823. S. 494.

als Beispiel einer artenreichen Insel anführt, so läfst sich dies ohne Zwang mit unseren Ansichten in Einklang setzen. Island gehört zu den geräumigen, es gehört zu den alten und zu den hohen Inseln, wo die Verschiedenheit der Standörter die Mannigfaltigkeit der Pflanzenwelt begünstigte und wo es nie an Schutzwinkeln gefehlt haben kann, wenn physikalische Wechsel zu überstehen waren [1]).

Erschwert die Insularität eines Erdraumes seine Wiederbevölkerung mit wandernden Pflanzen und Tieren, so schützt sie umgekehrt seine Bewohner vor den Einbrüchen verheerender Tier- und Pflanzenhorden. Altertümliche Trachten der Schöpfung, die auf dem Festlande schon der Versteinerungskunde verfallen sind, vermögen daher ihr Dasein auf Inseln zu verlängern. Fast alle älteren Inseln, selbst die kleinsten, besitzen daher eine Anzahl endemischer Pflanzen- und Tierarten, die sich durch Abweichungen von ihren nächsten Verwandten auf dem Festlande unterscheiden. Ähnlich wie die Inseln zum Festland verhalten sich wegen ihrer Isolierung die Süfswasserseen und selbst die Flüsse zum Wasser im allgemeinen. Wie Darwin uns belehrt, haben sich daher im Süfswasser die ältesten Tiergestalten erhalten, z. B. sieben Gattungen der Knorpelfische (Ganoiden) und solche lebendige Antiquitäten wie der Lepidosiren und das Wasserschnabeltier (Ornithorhynchus). Ist die Insel nur geräumig genug, so kann sie mehr als die Hälfte der Formen eines untergegangenen Festlandes aufnehmen. Madagaskar, in dem wir eine zusammengeschrumpfte Weltinsel erkennen, besitzt an seiner Ostküste, wie wir schon bemerkt haben, eine eigene Fauna, namentlich ausgezeichnet durch Reptilien und mehrere Gattungen von Halbaffen. Noch merkwürdiger ist das Verhalten von Australien, welches seinen Zusammenhang mit Asien und mit Europa erst in der tertiären Zeit verlor. Es hat sich nicht nur aus jener Vergangenheit eine eigentümliche und fremdartige Pflanzenwelt gerettet, sondern von seinen 131 Landsäugetieren gehören nicht weniger als 102 den Beuteltieren an, die in Europa in der Tertiärzeit noch vorhanden waren, jetzt aber überall ausgestorben sind, mit Ausnahme einer einzigen Gattung (Didelphys) in Amerika. Sonst fehlen nach Andreas Wagner Australien alle Affen, alle Raubthiere mit Ausnahme des neuholländischen Hundes (Dingo), der aber nicht frei ist von dem Verdacht einer künstlichen Einfuhr; es mangeln alle Huftiere,

[1]) Höchst merkwürdig und schwer zu erklären ist dagegen der Reichtum der Insel Borkum, die von unseren Nordseegestaden doch erst in einer kurzen Vergangenheit abgetrennt wurde, an Pflanzen, die dem gegenüber liegenden Festlande fehlen. Hermann Guthe, Die Lande Braunschweig und Hannover. Hannover 1867. S. 10.

alle Zahnlücker, und nur die Zahnlosen wie die Nagetiere sind neben den Fledermäusen vertreten. Was die letzteren betrifft, so haben sie eine aufserordentlich weite Verbreitung, auch über die polynesischen Inseln und bis nach Neuseeland; aber da sie zu den Geschöpfen gehören, deren Ortsbewegung in der Luft stattfindet, so können sie uns auch nicht als Zeugen dienen, ob die Insularität eines Erdraumes in früheren oder in späteren Zeiten eingetreten sei. Australien ist also die älteste der Weltinseln, d. h. derjenige Erdraum, dessen Geschöpfe noch die Trachten der geologischen Vorzeit nicht abgelegt haben.

Die Naturgrenze, welche Australien und seinen Zubehör an Inseln von Asien trennt, ist eine über 100 Faden tiefe Strafse, welche, an einer Stelle nur 4 geographische Meilen breit, die asiatische Insel Bali von der australischen Insel Lombok und weiterhin Borneo von Celebes scheidet (s. Fig. 80 auf S. 543); jenseits dieser Linie beginnt das asiatische Tierleben zu verlöschen, während das australische dafür einsetzt. Die drei grofsen Inseln Borneo, Sumatra und Java haben noch in einer geologisch ganz jungen Zeit zu Asien gehört; denn der Elefant und Tapir auf Sumatra und Borneo, das sumatranische und das ihm ganz nahe stehende javanische Nashorn, die wilden Rinder auf Borneo und auf Java sind sämtlich jetzt als Bewohner Südasiens angetroffen worden. Auf Borneo sind die Wälder gefüllt mit mancherlei Affenarten, Wildkatzen, Zibetkatzen, Rotwild, sowie Scharen von Eichhörnchen; auf Celebes fehlen diese alle gänzlich. Hier finden sich überhaupt nur 16 Arten von Säugetieren (ungerechnet 7 Arten Fledermäuse), unter ihnen einige merkwürdige, schon früher erwähnte Gestalten, nämlich ein pavianartiger Affe (Cynopithecus nigrescens), ferner ein antilopenartiges Rind (Sapi-utan) und das Hirschschwein (Babirussa), zwei Cuscusarten (eichhörnchenartige Beuteltiere mit Greifschwänzen) u. a. Freilich werden auf Celebes noch die Charaktertypen Australiens vermifst, insbesondre (bis auf die Gattung Cuscus) alle Beuteltiere. Unter den 164 Arten von Landvögeln, welche bis jetzt dort beobachtet wurden, sind 94, also mehr als die Hälfte, der Insel eigentümlich. Säugetiere wie Vögel von Celebes nähern sich übrigens nach Wallaces neueren Untersuchungen den asiatischen Tierformen mehr als den australischen; doch läfst sich auf Grund unserer gegenwärtigen Erkenntnisse noch nicht mit Sicherheit angeben, ob diese Insel länger mit dem östlichen oder westlichen Inselrevier verbunden war. Zweifellos ist sie sehr alt und hat sich wohl bereits in der Miocänzeit von den Nachbarräumen im Westen und Osten losgelöst. Ähnliche Gegensätze wie zwischen Borneo und Celebes bietet die Tierwelt von Bali und Lombok dar; nur rücken sie hier räumlich einander noch näher, da nur eine 4 geogr. Meilen breite Strafse beide von einander trennt.

Trotzdem sind selbst die Vögel auf beiden Seiten ganz verschiedene. Auf Bali finden sich noch asiatische Vögel; auf Lombok hingegen giebt es Kakadus, Honigsauger, Grofsfüfse (Megapodii) in Überflufs, welche auf Bali und allen westlichen Inseln fehlen [1]).

Höchst auffallend mufs es jedoch erscheinen, dafs die Flora des Indischen Archipels überall, mit Ausnahme der Gruppe von Timor und der Insel Neuguinea, deren Florencharakter sich zwischen den Ostindiens und den Australiens stellt [2]), einen ausgeprägt indischen Charakter an sich trägt; es stimmen demnach die Grenzen gewisser Pflanzen- und Tierformen hier durchaus nicht mit einander überein. Wie soll man sich nun diese Disharmonie erklären?

A. Grisebach [3]) sucht dieses Rätsel in folgender Weise zu lösen: Pflanzen und Tiere nehmen eine verschiedene Stellung zur Aufsenwelt ein. Nach ihrer Organisation sind die ersteren vom Klima abhängiger, die letzteren von der Vegetation, die ihnen zur Nahrung dient. Nun ist das Klima eines Landes durch die Gestalt der Küsten und das Relief des Bodens bedingt. War also der östliche Teil des Archipels einst ohne seine Gebirge und zugleich noch mit Australien verbunden, so mufste sein Klima und somit auch seine Vegetation eine australische sein. Mit der Änderung des Klimas verschwand auch die damalige Vegetation; eine neue Flora von indischem Charakter entstand, während die Fauna, weil sie vom Klima unabhängiger ist, den früheren Typus länger zu bewahren vermochte. Vielleicht ist die jetzige Periode ein Zeitalter, in welchem die australischen Tierformen Neuguineas nach und nach aussterben, um anderen Tiergestalten Platz zu machen, weil die Dschungeln ihrer Ernährung nicht entsprechen. In der That besitzt Neuguinea nebst den benachbarten Papua-Inseln aufser 19 Fledermäusen nur 38 Säugetiere, nämlich 22 Beuteltiere, 13 Nager (darunter die 3 kosmopolitischen Musgeschlechter), ein Schwein, einen Insektenfresser und ein Schnabeltier [4]). Dagegen entstanden in anderen Tierklassen bereits neue Formen, welche der heutigen Vegetation entsprechen, so die Paradiesvögel, die in Australien unbekannt sind.

Noch einfacher dünkt uns folgende Erklärung zu sein: Die Vegetation eines Landes war ohne Zweifel stets dem Tierleben, welches sie

[1]) A. R. Wallace, The Malay Archipelago. Vol. I, p. 18 sq. 432 und Island Life. p. 421 sq.

[2]) Oskar Drude in Behms Geographischem Jahrbuch. Bd. VII (1878), S. 212 f.

[3]) Die Vegetation der Erde. Leipzig 1872. Bd. II, S. 68—70.

[4]) Nach W. Peters und G. Doria im Museo civico di Genova. Vol. XVI (1881), p. 662—706.

ernährt, in der geologischen Entwicklung voraus. Demnach ist auch die heutige indische Flora vor der jetzigen südostasiatischen Tierwelt auf dem Schauplatze der Natur erschienen[1]), und sie fand demnach wahrscheinlich noch Pfade nach den östlichen Theilen jenes Archipels vor, welche bei dem späteren Auftreten der Tiere bereits unter Wasser gesetzt waren. Somit war diesen ein Vordringen in die östliche Hälfte des Archipels nicht mehr möglich.

Wenn auch jünger als Australien, so doch seit langer Zeit von diesem getrennt ist die Insel Tasmanien, deren Pflanzenwelt sich zwar nicht erheblich von der australischen unterscheidet, deren Landvögel und Süfswasserfische, deren Säugetiere, namentlich durch die Seltenheit von Vertretern der placentalen Ordnungen, uns aber schliefsen lassen, dafs Tasmanien sich vor geraumer Zeit von Australien abgesondert haben mufs.

Als Insel viel älter noch als Tasmanien erscheint uns Neuseeland, welches (wenn überhaupt) nur in einer sehr fernen Zeit mit Australien trocken befestigt gewesen sein kann. Neuseeland besitzt an Säugetieren nur zwei Fledermäuse, etliche Seesäugetiere, die Maori-Ratte (Kiore), welche jedoch mit den Eingeborenen einwanderte und von der eingedrungenen europäischen (normannischen) Ratte bereits fast gänzlich verdrängt ist, und ein von Haast aufgefundenes otterähnliches Tier, von den Eingeborenen Waitoreke genannt, also keine „wandernden" Säugetiere. Auch unter den Vögeln, deren Artenzahl etwa 100 beträgt, finden sich viele merkwürdige, Neuseeland eigentümliche Gestalten, namentlich die flügellosen oder vielmehr nur mit Flügelrudimenten versehenen Kiwis und Moas, von denen die ersteren nicht gröfser sind als ein Huhn, während die letzteren, die übrigens längst ausgestorben sind, von riesenhafter Gröfse waren. Man hat bisher nicht weniger als 4 Kiwi- und 11 Moa-Arten entdeckt: eine so grofse Anzahl straufsartiger Tiere, wie sie nirgends auf so kleinem Raume wiedergefunden wird. Enthält doch sonst weder ein Erdteil noch eine Insel mehr als drei Arten dieser Tiere und die gesamte übrige Erde kaum mehr Arten als Neuseeland! Wallace[2]) schliefst hieraus, dafs wir es hier mit dem letzten Rest einer früher gröfseren Landmasse zu thun haben, deren meiste Bewohner sich auf diese Scholle flüchteten. Da die Kiwis und Moas dem australischen Emu und dem indischen

[1]) Die neueren Nachrichten über die fossile Flora des ganzen östlichen Asien, so spärlich sie auch noch sind, scheinen dies zu bestätigen; denn die Tertiärpflanzen Ostasiens sind von den gegenwärtig daselbst existierenden Typen wenig verschieden. Adolf Engler, Versuch einer Entwicklungsgeschichte der Pflanzenwelt. Leipzig 1879. Bd. I, S. 16.

[2]) Island Life. London 1880. p. 449 sq.

Kasuar nahe stehen und da ferner auch die fliegenden Vögel neben den ganz eigentümlichen Typen enge Beziehungen zum tropischen Australien und zu Neuguinea, keine aber zu dem gemäfsigten Australien zeigen, so gelangen wir zu der Überzeugung, dafs sich Neuseeland einst weit nach der Carpentaria-Halbinsel hin erstreckte, worauf übrigens auch die submarine Bank zwischen Neuseelaud und dem nördlichen Australien hinweist (vgl. Fig. 80 auf S. 543). Was die Reptilien und Amphibien betrifft, so ist das gänzliche Fehlen von Schlangen, Schildkröten und, mit Ausnahme eines einzigen Frosches (Leiopelma Hochstetteri), auch das Fehlen der Batrachier höchst auffallend [1]); zu den drei Gattungen der Eidechsen gesellt sich noch Hatteria punctata, ein uralter, ganz isolierter Typus, in mehrfacher Hinsicht ein Mittelding zwischen Eidechse und Krokodil. Auch die Pflanzenwelt ist eine ganz eigentümliche; obwohl der australischen verwandt, fehlen ihr doch gerade die Charaktererscheinungen dieses Kontinents, während einige Gattungen sogar Ähnlichkeit mit südamerikanischen Typen verraten [2]). Die Abwesenheit wichtiger australischer Ordnungen deutet gleichfalls darauf hin, dafs Neuseeland früher mit dem tropischen Australien zusammenhing; denn in diesem Teile des Kontinentes findet sich eine weit ärmere und weniger eigentümliche Flora als in Südaustralien, dem wichtigen Sammelplatze der eigentlichen Charaktergewächse Australiens. Neuseeland bietet vortreffliche Gelegenheit, sich einen Begriff von den landschaftlichen Eindrücken der geologischen Vergangenheit zu bilden. „Im Innern der neuseeländischen Wälder“, lesen wir bei Ferd. v. Hochstetter (S. 418), „ist es düster und tot; weder bunte Blüten, noch bunte Schmetterlinge, noch Vögel erfreuen das Auge oder geben Abwechslung; alles Tierleben scheint erstorben, und so sehr man sich auch nach dem Walde gesehnt, so begrüfst man doch mit wahrem Wonnegefühl nach tagelanger Wanderung durch diese düsteren, öden Wälder wieder das Tageslicht der offenen Landschaft.“ So freudelos erscheinen uns Erdräume, wo zwischen den stummen und stillen Pflanzengestalten keine Kreatur durch Laute ihre Lust am Dasein zu erkennen giebt.

Auch die Grofsen Antillen gehören zu den Inseln, die sich schon vor langer Zeit von dem Festland abgesondert haben. Hinsichtlich ihrer Flora und Fauna stehen sie dem nordamerikanischen Kontinent ungeahnt fern, während sie mehr Anklänge an die mittel- und südamerikanische Pflanzen- und Tierwelt darbieten. Als die spanischen

[1]) Ferd. v. Hochstetter, Neuseeland. Stuttgart 1863. S. 426 ff.

[2]) Ferd. v. Hochstetter, l. c. S. 410 ff. nach J. D. Hooker, Essay to the Flora of New Zealand. London 1853.

Entdecker sie betraten, fanden sie von Landsäugetieren (die Fledermäuse immer abgerechnet) nur vier oder fünf Arten kleine Nager vor, von denen jetzt nur eine einzige (Capromys Fournieri) vorhanden ist[1]). Höchst merkwürdig ist die Thatsache, daſs unter den so spärlichen Säugetieren auf Cuba und Haïti sich je eine Solenodon-Art (ein Insektenfresser, einer übermäſsig vergröſserten Spitzmaus ähnlich) befindet, deren nächste Verwandten (zur Gattung Centetes gehörend) nur auf Madagaskar vorkommen. Natürlich berechtigt dies nicht zu der tollkühnen Idee eines seeschlangenartigen Sonderzusammenhangs der Antillen mit Madagaskar in der Vorzeit; wohl aber läſst es wiederum deutlich erkennen, daſs sich auf Inseln alte Formen viel länger zu erhalten vermögen als auf dem Kontinente, wo sie durch überlegene Nebenbuhler oft rasch verdrängt werden. Umgekehrt besaſsen die Antillen zur Tertiärzeit Nagetiere, welche mittlerweile hier längst ausgestorben sind, deren Familiengenossen aber gegenwärtig noch die Cordilleren Südamerikas bewohnen[2]). Cuba und Haïti sind geräumig genug, um einer Menge von Säugetieren im wilden Zustand eine Heimat zu bieten, wenn sie zu der Zeit, wo die heutigen Säugetiere auftraten, noch einen Zusammenhang mit dem Festlande besessen hätten. Die Antillen gehören deswegen ebenfalls zu den alten Inseln.

Bemerken wir also, daſs die Inseln in Bezug auf die Trachten der Tier- und Pflanzenwelt sich konservativ verhalten, so haben sie auch den Menschenrassen, die sie bewohnen, als Asyl gedient. Zu den nationalen Erkennungszeichen gehört vornehmlich die Sprache, und auf Inseln erhalten sich altertümliche Sprachen viel länger als auf den Festlanden. Nachdem normannische Wikinge im Jahre 867 Island entdeckt und es bald darauf bevölkert hatten, redeten ihre Nachkommen auf Island die nämliche Sprache wie die damaligen Bewohner Norwegens und Dänemarks; aber nur auf Island hat sich die altnordische Sprache erhalten, während sie sich in Dänemark und Norwegen bis zur Unkenntlichkeit modernisierte. Die alten keltischen Sprachen sind auf dem Festlande früher erloschen als in Groſsbritannien, wo noch gegenwärtig einige Reste aus Pietät gepflegt werden, und in Groſsbritannien wiederum früher als auf dem ferner liegenden Irland. Die Kawisprache, um deren Erforschung sich Wilhelm v. Humboldt so hohe Verdienste erworben hat, ist längst von der Bevölkerung Javas vergessen worden; sie konnte aber auf den vom Hauptkörper

[1]) Die Abwesenheit der groſsen festländischen Säugetiere auf den Antillen erregte schon die Verwunderung des geistreichen Jesuiten Josef Acosta: De natura novi orbis. Coloniae 1596. Lib. I, cap. 21.

[2]) Alfred Kirchhoff in der Deutschen Revue. Januar 1879. S. 101 f.

abgesprengten Inseln Madura und Bali als Sprache bei gottesdienstlichen Handlungen und bei dramatischen Puppenspielen, wenn sie Stoffe einer frühen Vorzeit behandeln, ihr Leben fristen. Auf der Südküste der Insel Ceylon wird das Elu gesprochen, welches vielleicht in keinem, höchstens nur in einem sehr entfernten Zusammenhange mit den drawidischen Sprachen Südindiens steht[1]). Selbst auf den Kanalinseln haben sich nach der Darstellung von Ansted und Latham neben einer eigenen unschönen Sprache Sitten und Gebräuche erhalten, welche sowohl in der Normandie wie in England längst der Vergessenheit angehören. So retten sich zugleich mit den örtlichen Trachten auch Reste altertümlicher Sprachen in schwer zugängliche Alpenthäler, so lange gute Strafsen nicht ihre Insularität vernichten, wie uns L. Steub an dem Grödener Thal, einer romanischen Sprachinsel in den Tiroler Alpen, gezeigt hat.

Eine andere geschichtliche Bevorzugung haben Inseln in der Nähe festländischer Gestade genossen; denn sie dienten seefahrenden und handeltreibenden Völkern als Handelsniederlagen. Wir alle wissen, wie bedeutsam zur Zeit der Festlandsperre die Insel Helgoland wurde, weil sie sich im Besitz der Engländer befand. Ähnliche Dienste leistete den Portugiesen das künstlich isolierte Macao in Bezug auf China, sowie die Insel Alt-Goa an der indischen Küste, die jetzt durch die britische Insel Bombay verdunkelt worden ist. Auch die Geschichte des Altertums liefert uns eine Anzahl Beispiele; denn die Insel Gades (Cadiz) war der gröfste der atlantischen Hafenplätze der Phönicier; eine andere phönicische Niederlassung befand sich auf Salamis, und die älteste griechische Niederlassung im Tyrrhenischen Meere treffen wir auf dem vulkanischen Ischia[2]).

Sehr oft hören wir bewundern, dafs die Natur ein strenges Hausregiment gegen ihre Geschöpfe führe und namentlich eine wohlthätige Polizeigewalt ausübe. So habe sie, sagt man sich, Geschöpfe hervorgerufen, welche allen schädlichen Unrat und namentlich die Leichen von Tieren und Pflanzen auf dem Lande und im Wasser beiseite schaffen, damit sie nicht durch Fäulnis oder Verwesung das Element vergiften, worin andere Geschöpfe leben sollen. Auch hat sie Vorkehrungen getroffen, dafs sich nicht irgend eine Tier- oder Pflanzenart zu Ungunsten der gesamten Zeitgenossen vermehre. Was man von dieser Ordnung in der Natur behauptet, ist vielleicht nichts an-

[1]) Friedrich Spiegel im Ausland 1867, S. 516.

[2]) Forbiger, Handbuch der alten Geographie. Bd. III, S. 46. Curtius, Sieben Karten von Athen, erläuternder Text. S. 9. Mommsen, Römische Geschichte. Bd. I, S. 121.

deres als das Gleichgewicht, zu welchem nach fortgesetztem Ringen die Gestalten der belebten Schöpfung gelangt sind. Auf den Inseln aber mangelt das Gleichgewicht, und jene gerühmte Polizeigewalt wird bisweilen schmerzlich vermifst. Bei der Armut an Arten fehlt es nämlich an dem erbitterten Kampf um das Dasein, und es zeigen sich dann höchst befremdliche Erscheinungen. Als der holländische Entdecker Lemaire im Jahre 1616 die Wolke der niedrigen Tuamotu-Inseln erreichte und auf einer von ihnen (Nairsa oder Rangiroa, auch „Vlieghen eiland“ genannt) landete, wurden seine Matrosen und das ausgesetzte Boot von Fliegenschwärmen dermafsen überdeckt, dafs, heifst es in dem alten Bericht, „nous ne pouvions veoir ni visages, mains, voire la chaloupe et les rames.“ Etwas Ähnliches erzählt Beechey, der 1826 die Insel Bow oder Heau (auch Hao) auf der nämlichen Gruppe besuchte. Die ganz nackten Kinder safsen auf Matten und wälzten sich schreiend umher, um die Myriaden von Hausfliegen zu vertreiben, vor denen man ihre wahre Körperfarbe kaum erkennen konnte. Auf dem Inselvulkane St. Paul im Indischen Ocean giebt es keine Landtiere aufser solchen, die als Schmarotzer mit dem Menschen dahin gelangt sind. Unter diesen haben sich die Kellerasseln so schnell verbreitet, dafs einer der Naturforscher auf der Fregatte „Novara“, wie es in Karl v. Scherzers Bericht heifst, hundert als niedrigste Grenzzahl dieser Tiere für jeden Quadratfufs (= 1/10 Quadratmeter) angab, so dafs die kleine Insel 6000 Millionen dieser äufserlich so unholden, sonst aber harmlosen Geschöpfe beherbergt.

Auf den Inseln ist also der Kampf um das Dasein noch nicht entbrannt, und wo er noch nicht eingetreten ist, halten sich noch nicht die verschiedenen Tier- und Pflanzenarten das Gleichgewicht. Infolge dieses goldenen Friedens verlieren viele Geschöpfe das Rüstzeug, mit dem sie um ihr Dasein kämpfen sollten. Als die Portugiesen nach den Azoren, Madeira und den Kapverdischen Inseln gelangten, liefsen sich die Vögel, die sie dort fanden, mit den Händen greifen; denn offenbar kannten sie noch nicht oder kannten sie nicht mehr die Tücke ihres schlimmsten Feindes. Das Nämliche berichtet Darwin von den Vögeln auf den Galápagosinseln. Eines Tages setzte sich sogar auf den Rand einer Schildkrötenschale, die er in der Hand hielt, ein Spottvogel, um das darin enthaltene Wasser auszuschlürfen, und liefs sich mit der Schale ruhig in die Höhe heben[1]). Vögel, denen

[1]) Ganz ähnlich berichtet Bades Tagebuch von den Hänflingen und Schneeammern in Ostgrönland: „Einige derselben setzten sich höchst ungeniert uns fast auf die Nase und liefsen sich in fünf Minuten dreimal fangen.“ Die zweite deutsche Nordpolarfahrt in den Jahren 1869 und 1870. Leipzig 1873. Bd. I, Abteilung 1, S. 102.

auf Inseln keine Säugetiere und keine gefiederten Räuber nachstellen, entwöhnen sich des Fliegens. Der Fittich, der ihnen im Kampf des Daseins entbehrlich geworden ist, schrumpft zu einem zwecklosen Gliede ein, welches die früheren Zoologen mit grofsem Unrecht ein rudimentäres statt ein verstümmeltes genannt haben. Zu den Vögeln, die sich des Fliegens entwöhnt hatten, gehörte das Dodo oder der Dronte auf der Insel Mauritius, welcher noch am Beginn des 17. Jahrhunderts zahlreich vorhanden war und dann durch eine Art bethlehemitischen Kindermordes, verübt durch holländische Matrosen, völlig vertilgt wurde. Es gehörte dazu auch auf der nahe liegenden Insel Rodriguez der Einsiedler (Pezophaps solitaria), von dem man zahlreiche Knochengerüste in den dortigen Höhlen gefunden hat. Endlich müssen wir hier an die Riesenvögel Neuseelands, an die verschiedenen Moa-Arten erinnern, die viele Jahrtausende lang ohne irgend einen Gegner jene stille Inselgruppe bewohnten, bis die Flotte der Maori erschien und die Insel sich zuerst mit Menschen bevölkerte, was nach den freilich zweifelhaften Überlieferungen der Eingeborenen erst um 1300, also zum Schlufs unserer Kreuzzüge, geschehen sein soll. Die wehrlosen Geschöpfe fielen dann rasch unter den Schlägen der Menschen, und alles, was von jenen Tiergestalten gerettet werden konnte, besteht in den Gebeinen, aus denen die vergleichenden Anatomen die ehemalige Körpergestalt künstlich wieder zusammengesetzt haben. Die flügellosen Vögel der Festlande dagegen, die Straufse Afrikas, der südamerikanischen Steppen und Australiens, haben, immer von Gegnern umstellt, ihre Art durch eine günstige Entwicklung der Schenkelknochen und Muskeln gerettet und entrinnen noch heute durch Schnelligkeit des Laufes den nachstellenden Feinden.

Auch das Loos der Gewächse, die lange Zeit den Inselfrieden genossen haben, ist besiegelt, sobald die Menschen von den Schiffen auf das vorher nicht betretene Land steigen; denn sie bringen immer eine Anzahl von Festlandspflanzen als anerkannte oder als heimliche Passagiere mit auf die Inseln. Auf St. Helena zählt man 746 blühende Gewächse, wovon 52 einheimisch, die übrigen meistens aus England eingeführt worden sind. Zur Zeit ihrer Entdeckung bot die Insel einen durch Isolierung gut erhaltenen, höchst merkwürdigen Pflanzenrest von hohem Alter (etwa aus dem Miocän). Sie war damals von üppigen Wäldern bedeckt, die jetzt jedoch völlig verschwunden sind. Zunächst wurden nämlich die Rinden der Bäume wegen ihrer Gerbstoffe abgeschält. Was die Menschen verschonten, zerstörten dann die Ziegen und Schweine, deren Zucht schwunghaft betrieben wurde. Wie rasch auf jener Insel der Artentod fortschreitet, konnte der jüngere Hooker am besten beobachten, da er als Begleiter von Sir James

Rofs auf seinen antarktischen Entdeckungsfahrten die Insel zweimal betrat. Während seiner Abwesenheit war eine eigentümliche Pflanze (Acalypha rubra) verschwunden; zwei andere strauchartige Melhanien mit prunkenden Blumen waren kurz zuvor ausgestorben; endlich erschien das Fortbestehen etlicher Wahlenbergien, einer Physalis und der wenigen baumartigen Kompositen stark bedroht. Hingegen haben zufällig eingeführte Arten, wie Chenopodium ambrosioides L. und ein Rubus, so überhand genommen, dafs sie für die Bewohner eine Plage geworden sind und gegen letztere Pflanze sogar auf Befehl der Regierung ein Vernichtungskrieg geführt wurde. Auf Madeira sind zwei gelbblühende Leguminosensträucher (Ulex europaeus L. und Sarothamnus scoparius L.), die offenbar von Europa, wahrscheinlich von England nach Madeira eingeführt wurden, gegenwärtig so weit verbreitet, dafs sie bis zu einer Höhe von 325 Metern einen Hauptbestandteil der Flora bilden und im Juni die grüne Insel mit einem goldgelben Gürtel schmücken [1]). Das ursprüngliche Pflanzenkleid von Rodriguez ist ebenso sehr durch die zahlreichen Ziegen und Rinder, wie durch die eingeführten, üppig wuchernden Gewächse und die häufigen Feuersbrünste zerstört worden, und so erscheint die vor 200 Jahren noch im herrlichen Waldschmuck prangende Insel jetzt als eine kahle, zerborstene vulkanische Bergmasse.

Mit gleicher Unerbittlichkeit vollzieht sich der nämliche Vorgang auf Neuseeland. In schnöder Hast verbreiten sich englische Gräser und verdrängen die ältere Pflanzenwelt der Inseln. Ein Polygonum (aviculare), „Kuhgras" genannt, wächst überall höchst üppig; das Ampferkraut (Rumex obtusifolius oder R. crispus) findet sich in jedem Flufsbett; die Saudistel ist über das ganze Land verbreitet und wächst üppig beinahe bis zu 2000 Meter Höhe; die Wasserkresse nimmt in den Flüssen mit schwachem Gefäll in solchem Umfang zu, dafs sie dieselben ganz unfahrbar zu machen droht. Besonders merkwürdig ist es, dafs der kleine weifse Klee und andere Kräuter den neuseeländischen Flachs (Phormium tenax) wirklich erdrücken und völlig ertöten — eine Pflanze der gröbsten, härtesten und zähesten Art, die ungeheure filzartige Gruppen holziger Rhizomen bildet und Büschel schwertartiger, 2 bis 3 Meter hoher und in Textur und Faser aufserordentlich starker Blätter emportreibt. So müssen zahlreiche einheimische Gewächse den kräftigeren und jugendlichen Conquistadoren weichen. Faites place que je m'y mette, ist das Losungswort bei allen diesen Rassenkriegen. Nach einem Briefe von J. Haast an Charles

[1]) L. Kny, l. c. S. 225 f.

Darwin[1]) richten die Schweine, welche im verwilderten Zustande sich mit schädlicher Fruchtbarkeit vermehrt haben, durch das Aufwühlen des Bodens furchtbare Verheerungen an, so dafs die Landwirte eine Belohnung zahlen für ihre Vernichtung. Mag es auch beschämend klingen, so ist es doch nicht minder wahr, dafs das Schwein hier die Rolle eines „Pioniers der Civilisation" übernommen hat; denn sicherlich trägt es viel dazu bei, Neuseeland in Kürze sein altmodisches Pflanzenkleid abzustreifen und ihm ein anderes nach dem neuesten europäischen Zuschnitt aufzunötigen, da die Lücken, welche in die dortige Pflanzenwelt hineingerissen werden, rasch die Gewächse ausfüllen, mit denen der europäische Mensch in geselligem Verkehr lebt oder die ihm wie Ungeziefer folgen und die, hart gesotten im Kontinentalkampfe und Sieger über so viele ältere Arten, rasch die letzten schwachen Reste der Vorzeit hinwegräumen. Die einheimische polynesische Ratte, welche Neuseeland mit den Maori, ihren ersten menschlichen Bewohnern, betrat, wird gegenwärtig ausgerottet durch die normannische Ratte, welche mit den britischen Schiffen nach der Insel gelangte. Ihr auf dem Fufse ist die europäische Maus gefolgt und soll, was beinahe rätselhaft klingt, wiederum die normannische Ratte vertreiben. Die europäische Hausfliege ist anfangs als ungebetener Gast erschienen; jetzt wird sie von den Ansiedlern zur weiteren Verbreitung in Schachteln und Flaschen versendet, weil man bemerkt hat, dafs die viel lästigere neuseeländische blaue Schmeifsfliege ihre Gesellschaft scheut und sich verabschiedet, wo die Europäerin ihren Einzug hält. Die Maori sagen daher mit Recht: „Wie des weifsen Mannes Ratte die einheimische Ratte vertrieben hat, so vertreibt die europäische Fliege unsere eigene. Der eingewanderte Klee tötet unser Farnkraut, und so werden die Maori verschwinden vor dem weifsen Manne selbst." Wir dürfen daher mit Recht die Naturforscher beneiden, die, wie F. v. Hochstetter und J. Haast, die Pflanzen- und Tierwelt jener Insel gesehen haben in ihrer alten tertiären Tracht und die der Wissenschaft eine getreue Schilderung jener merkwürdigen lebendigen Reste einer dem Untergange geweihten organischen Welt überliefern konnten.

Die nämlichen Vorgänge werden auch von den Chatham-Inseln im Osten Neuseelands gemeldet. Dort haben sich der englische Stechapfel, der weifse Klee, das englische Mafslieb, das Ampferkraut und der Senf so üppig und rasch verbreitet, dafs die einheimischen Gräser beträchtlich zusammengeschrumpft sind und ein baldiger Untergang auch ihnen bevorsteht. Bereits haben sich auch Tauben und

[1]) Ausland 1865, S. 738.

Meisen hier niedergelassen, welche, zuerst in Australien eingebürgert, von dort aus ihren Weg nach jenen alten Inselvulkanen fanden. Von der Insel Tahiti wird uns berichtet, dafs der Guavabaum (Psidium pomiferum L.), welcher seiner efsbaren Früchte wegen im Jahre 1815 von einem Missionär aus Südamerika dorthin verpflanzt wurde, jetzt weite Gebiete dieser Insel mit einem fast undurchdringlichen Dickicht überzieht [1]).

Auf Ceylon, das ja ebenfalls eine alte Insel ist, vollziehen sich ganz ähnliche Vorgänge. Der Engländer Thwaites machte die Beobachtung, dafs mit der beständigen Erweiterung der Kaffeeplantagen manche der dortigen Pflanzen sehr selten werden. Namentlich scheint der Vegetationscharakter bis zu 1000 Meter Höhe durch eine erst vor ungefähr 50 Jahren auf Ceylon eingeführte Pflanze eine völlige Änderung zu erfahren. Es ist dies eine in Amerika heimische Verbenacee, Lantana mixta. Sie bedeckt bereits Tausende von Ackern Landes mit üppigem Laube; sie verdrängt alle ursprünglich dort wachsenden Pflanzen und vernichtet selbst kleine Bäume [2]).

Wir sehen also, dafs mit dem Auftreten des Menschen auf vorher unbewohnten Inseln ein neuer geologischer Zeitabschnitt beginnt oder vielmehr die letzten Accorde einer älteren geologischen Zeit verklingen. Wir müssen uns indessen sogleich verbessern, dafs wir den Untergang von Inselgeschöpfen an das Auftreten des Menschen im allgemeinen knüpften; denn die Veränderungen, welche z. B. in Neuseeland nach der Landung der Maori erfolgten, waren sehr geringfügig; sie bestanden nur in der Ausrottung der flügellosen Riesenvögel und der Einführung der polynesischen Ratte, eines Papageien und das Sultanshuhns (Porphyrio), sowie einiger Kulturpflanzen. Der Typus der neuseeländischen Pflanzenwelt blieb dagegen in seinen Grundzügen ungeschmälert und unverwischt erhalten. Die grofsen und jähen Wechsel erfolgten erst mit dem Erscheinen einer besonderen Spielart des Menschengeschlechtes, des Homo europaeus, wenn man so sagen darf. Wie seinen Kultur- und Schmarotzerpflanzen die einheimischen Gewächse, wie seinen Zucht- und Schmarotzertieren die einheimische Tierwelt weicht, so sterben auch die Spielarten des Menschengeschlechts selbst aus, welche abgelegene Inseln oder Weltinseln lange Zeit friedlich oder nur bedroht von ihresgleichen bewohnten. Vielleicht noch ehe dieses Jahrhundert vergeht, jedenfalls im nächsten, werden die Urbewohner Australiens verschwunden sein wie die Maori in Neuseeland, welche deutlich ihren

[1]) Reise der österreichischen Fregatte Novara um die Erde. Wien 1862. Bd. III, S. 196.

[2]) Zeitschrift Globus. Bd. XX (1871), Nr. 15, S. 240.

Untergang voraussehen, wie die Viti-Insulaner, die Bewohner der Tonga- und Samoagruppe, Tahitis, der Marquesas-Inseln und die Kanaken der Hawaiigruppe. Die Tasmanier sind bereits ganz hinweggerafft; im Jahre 1869 starb ihr letzter männlicher Repräsentant, welchem 1876 die letzte tasmanische Frau folgte. In dem Kampf um das Dasein erliegen alle Inselbevölkerungen bei der Berührung mit den Kindern der Festlande. Der erste Menschenstamm Amerikas, welcher schon 50 Jahre nach der Entdeckung ausstarb, waren die harmlosen Antillenos, und zwar wäre ihre Ausrottung erfolgt, selbst wenn die Spanier nie den Weg nach der Neuen Welt gefunden hätten; denn vom Festland aus hatte sich bereits der schöne, streitbare, see- und sternkundige Menschenschlag der Cariben über die Kleinen Antillen verbreitet, der westlichen Hälfte von Puertorico sich bemächtigt und erstreckte schon seine Menschenraubzüge über Haïti, Cuba und die Bahama-Inseln. Der rote Mann Amerikas weicht allerdings auch vor den Bleichgesichtern; einzelne Stämme jedoch leisteten bisher einen glücklichen Widerstand, wie die Farbigen in Mittelamerika, wie die Nachkommen der Kulturvölker Quitos und Perus, wie die Araucanier Südchiles und die Eingeborenen der patagonischen Steppen, die sich beritten gemacht haben auf den von den Europäern eingeführten Pferden. Der Neger endlich als afrikanische Spielart des Menschen ist nicht im Aussterben begriffen, sondern er hält in seinem heimatlichen Festlande siegreich stand gegen europäische oder berberische Eindringlinge. Es ist also vorzugsweise das Schicksal der Inselbevölkerungen, dafs sie der Invasion von Kontinentalvölkern erliegen. So sind die Kelten der britischen Inseln zunächst von den Römern, dann von den Sachsen, hierauf von den Dänen und zuletzt von den Normannen überfallen worden. Die Malayen, von denen man richtig annimmt, dafs sie vom südasiatischen Festland ausgingen, haben auf Sumatra, Borneo, den Philippinen und den Molukken die eingebornen Australneger überall in die Gebirge zurückgedrängt, und das Gleiche ist den Veddahs auf Ceylon von Seiten der tamulischen Einwanderer (Singhalesen) widerfahren.

Es ist höchst auffallend, dafs die Erdkunde sich bisher begnügte, nur die einzelnen Inselkörper zu benennen, und sich nicht gewagt hat, sie artenweise zu ordnen, um durch Beigabe einer klassifikatorischen Bezeichnung sogleich eine Reihe bestimmter Merkmale auszusprechen (vgl. hierzu jedoch S. 549, Nota 1). Wir wollen zum Schlufs etwas derartiges versuchen. Es lassen sich nämlich unterscheiden:

A. Inseln, die niemals Festland waren (Kirchhoffs „ursprüngliche Inseln").

1) Junge Inseln, von Korallen erbaut, niedrig, arm an Pflanzen- und Tierarten, vorzüglich an Säugetieren und Reptilien, nicht ausgezeichnet durch den ausschliefslichen Besitz eigentümlicher Gewächse oder Tiere. Beispiele: die Atolle der Südsee und des Indischen Oceans, am schärfsten vertreten durch die Keeling-Inseln.

2) Junge Inseln vulkanischen Ursprungs, als hohe Inseln reicher an Arten als die niedrigen Atolle, aber ohne eigentümliche Arten. Beispiele: nördliche Gruppe der Marianen, St. Paul und Neu-Amsterdam.

3) Alte Inselvulkane, vergleichsweise reicher als die vorigen, mit eigenen Pflanzen- und Tiertrachten, Zufluchtsstätten ausgestorbener Kontinentalarten. Beispiele: Madeira (?), Ascension, St. Helena, Bourbon, Mauritius, die Galápagos-Gruppe u. s. w.

B. Bruchstücke früherer Festlande (Kirchhoffs „Festlandsinseln").

4) Frisch abgetrennte Inseln mit derselben Pflanzen- und Tierwelt wie das benachbarte Festland, nicht ausgezeichnet durch den ausschliefslichen Besitz von eigentümlichen organischen Formen, in Verarmung begriffen oder ihr entgegengehend. Beispiele: die britischen Inseln, Sumatra, Borneo, Java, Japan, Formosa und Tasmanien.

5) Inseln, die sich in der geologischen Vorzeit abtrennten, alte Kontinentalinseln. Ihre Tier- und Pflanzenwelt zeigt bereits Verschiedenheit mit dem Mutterfestlande. Trat die Trennung schon vor gröfseren Zeitabschnitten ein, so kann sich sogar typische Verschiedenheit entwickeln. Beispiele: die Antillen, Celebes, Ceylon, Neu-Guinea in Bezug auf Australien, ebenso Neu-Caledonien und Neuseeland, die beiden letzteren die ältesten Bruchstücke eines Festlandes, wenn sie überhaupt jemals mit Australien einen Zusammenhang besafsen.

6) Zusammengeschrumpfte Weltinseln. Reichtum an eigengehörigen Arten mit altertümlichem Anstrich. Beispiele: Australien in Bezug auf Südasien, Madagaskar mit den Seychellen (?), vielleicht auch Neuseeland und der antarktische Kontinent.

XVI. Über die Lage, den Bau und die Entstehung der Gebirge

(mit besonderer Berücksichtigung der Alpen)[1]).

Alle Erdräume, welche jetzt über die oceanische Fläche emporragen, waren in früheren geologischen Zeitaltern vom Wasser bedeckt. So lange unser Planet noch aus einer glutflüssigen Masse bestand, vermochten sich wohl kaum nennenswerte Anschwellungen auf seiner Oberfläche zu bilden. Als jedoch infolge fortgeschrittener Erkaltung das Volumen des Erdkörpers eine bedeutende Verringerung erfuhr, erwies sich die mittlerweile starr gewordene äufsere Schale für den verdichteten Erdkern zu weit, und sie sank an manchen Stellen auf diesen herab, wodurch die übrigen Teile in eine relativ hohe Lage versetzt wurden. So war die Bildung erhabener kontinentaler Tafelländer und tiefer oceanischer Becken eingeleitet. Doch bewahrten beide in keinem geologischen Zeitalter ihre Gestalt; vielmehr änderten sie beständig ihre horizontalen Konturen, indem sie sich bald nach dieser, bald nach jener Richtung erweiterten oder an Umfang verloren. Manche Gebiete erhoben sich, um nach Ablauf einer gewissen Periode von neuem unterzutauchen, und in vielen Fällen wiederholte sich dieses Spiel mehrfach. Soweit man bis jetzt die Erde geologisch durchforscht hat, findet sich nirgends die Gesamtheit aller unter Mithilfe des Meeres, also durch Niederschläge aus demselben hervorgegangenen geschichteten Formationen. Vielmehr fehlen überall einige derselben; ja bisweilen ruhen die jüngsten unmittelbar auf den ältesten. Solche Lücken belehren uns, dafs die betreffenden Ländergebiete einst während kürzerer oder längerer Zeiträume über dem Meeresspiegel verharrten.

[1]) Einzelne Teile dieses Abschnittes sind den „Neuen Problemen“ (3. Aufl. S. 85–96) entlehnt.

Das Aufsteigen der Gebirge ist nun von dem der Kontinente wesentlich verschieden; es handelt sich hierbei ja nur um Fältelungen von relativ kleinem Umfang auf dem weit ausgedehnten Sockel kontinentaler Hochlande, nicht um die Bildung solcher Hochlande selbst. Es gilt nun zu ermitteln, welche Beziehungen zwischen der Erhebung der Kontinente und der Gebirge bestehen.

Von hoher Wichtigkeit ist die Thatsache, daſs die Lage und das Streichen sämtlicher Gebirge bedingt erscheinen durch die Uferrichtung der Festlande, denen sie angehörten, wie überhaupt die Lagerung der Schichten an den Kontinentalküsten gewaltige Störungen erlitten hat, im Innern der Kontinente hingegen verhältnismäſsig geringe. Von den Gebirgen, die in früheren geologischen Zeitabschnitten aufgestiegen sind, läſst sich ihr Verhältnis zu dem ehemaligen Ufersaum schwieriger nachweisen, weil die damalige Gestaltung der Festlande jetzt durch die See oder aufgelagertes Gebiet uns verdeckt ist. Von allen jüngeren Gebirgen aber können wir den Satz vertreten, daſs sie sämtlich am Ufer der See sich erhoben. Während der tertiären Zeit oder an ihrem Schlusse richteten sich auf: die Felsengebirge Nordamerikas, die Anden, der Himalaya, die Alpen. Aus älterer Zeit könnten wir hinzufügen die Vogesen und den Schwarzwald; denn das ehemalige Rheinthal von Basel bis Mainz bildete einen Meeresarm noch in der Jurazeit [1]). Der Schweizerische Jura lag ebenfalls zur Kreidezeit am Rande eines Meeres [2]). Am Fuſse der Pyrenäen, bei denen eine ältere und eine jüngere Erhebung unterschieden wird, zog sich zur Tertiärzeit noch ein schmaler Meeresstreifen von Bayonne bis zum Mittelmeer und ein zweiter am Südabhange im heutigen Ebrothale aufwärts. Der Kaukasus wurde ebenfalls am Rande des Meeres aufgerichtet; denn bis zur Miocänzeit waren der Pontus und das Kaspische Meer noch verbunden. Ist der Satz richtig, daſs Gebirge zur Zeit ihrer Erhebung immer in der Nähe der See lagen, so müssen Gebirge im Innern der Festlande, besonders wenn ihr Streichen nicht mehr zum Bau des Trockenen in Harmonie steht, vor der Tertiärzeit schon erhoben worden sein. Der Ural, unser Böhmerwald, das Erzgebirge, selbst der Harz müssen Zeiten angehören und gehören Zeiten an, wo unser Weltteil nach ganz veränderten Richtungen sich ausbreitete. Doch hüte man sich, den Satz umzukehren und jedes Gebirge, welches am Meere liegt und mit dem Streichen der Festlandsküsten übereinstimmt, deswegen für jung zu halten; denn wenn der Ocean die Festlande

[1]) Oswald Heer, Die Urwelt der Schweiz. Zürich 1865. S. 161, Fig. 97.

[2]) Der Jura erlitt eine doppelte Hebung, eine ältere und eine jüngere, welch letztere mit dem Aufsteigen der Alpen zusammenhing und seinen südlichen Abhang faltete.

verschlingt, wird er immer wieder zuletzt die alten Gebirge in Küstenketten verwandeln. Dies ist nachweisbar der Fall gewesen bei den Appalachen, die ehemals den westlichen Rand eines im Atlantischen Ocean versunkenen Festlandes bildeten.

Bei allen jüngeren Gebirgen mufs man zwischen ihrem oceanischen und ihrem kontinentalen Abhang unterscheiden. Der oceanische Abhang der Anden und der Felsengebirge ist natürlich das Stille Meer. Den oceanischen Abhang des Himalaya könnten wir den bengalischen nennen; denn die Gangesebene war noch in sehr neuer Zeit ein Meerbusen, der von den Schuttmassen des Himalaya ausgefüllt wurde, genau so wie die Alpen an ihrem oceanischen Abhang, als welchen wir den lombardischen betrachten, die Poebene durch ihre Verwitterungserzeugnisse ausfüllten.

Alle diese Gebirge zeigen übereinstimmend den Charakter, dafs auf ihrem festländischen Abhange Hochlande sich anlagern: an die Alpen die bayrische Hochebene, an den Himalaya Tibet, an die Felsengebirge die Hochebenen jenseits des Mississippi, an die Anden Gebirgsstufen, die sich nach Brasilien oder in die La-Plata-Gebiete hinabsenken. Damit hängt sehr einfach zusammen, dafs alle diese Gebirge an ihrem oceanischen Abhang viel steiler abfallen, die Alpen nach der Lombardei, der Himalaya nach Bengalen, die Felsengebirge und die Anden nach der Südsee zu, oder, was dasselbe sagen will, dafs fast alle Pässe vom Festlande viel sanfter aufsteigen, als sie nach dem Meere zu sich senken. So erhebt sich der Weg nach dem 4859 Meter hohen Tári-Passe des Himalaya von Süd her auf einer Strecke von 10,6 engl. Meilen 3356 Meter, sinkt aber nach Norden auf einer Entfernung von 14,5 engl. Meilen nur 1073 Meter. Die mittlere Neigung auf der indischen Seite beträgt 11° 8′, auf der tibetanischen 2° 38′[1]. Auch wäre es geradezu wunderlich, wenn es anders sein sollte; denn da es an dem oceanischen Abhange Meere auszufüllen gab, so konnten dort keine Hochebenen aufgeschichtet werden, während auf der festländischen Seite alle Abreibungserzeugnisse bereits auf trockenem, also auf absolut höherem Lande abgesetzt wurden. Es erklärt sich jetzt auch leicht, warum es am nördlichen Abhange der Alpen, also auf ihrer Binnenseite, keine Seen giebt, die bis unter den Meeresspiegel herabreichen, wohl aber auf der „lombardischen“ Flanke den Langen-, Comer, Garda-, Iseo- und Luganer See (nämlich mit Tiefen bis zu —657, —391, —219, —148 und —8 Metern)[2].

[1] Herm. v. Schlagintweit-Sakünlünski, Reisen in Indien und Hochasien. Jena 1871. Bd. II, S. 382 f.

[2] L. Rütimeyer, Über Thal- und Seebildung. Basel 1869. S. 58.

Die Beharrlichkeit der Höhenverhältnisse auf den Abhängen der Gebirge bezeugt uns unwiderleglich, daſs sie an den Rändern der Festlande aufgestiegen sind und daſs schon vor ihrer Erhebung die Umrisse der letzteren gegeben waren. Wären die Anden nämlich nicht am Rande eines schon trockenen Südamerika, sondern aus den Tiefen des Oceans aufgestiegen und trügen sie als Gebälk ein neues Festland, so müſste sich an ihrem pacifischen Abhang ein ebenso breiter Küstensaum finden wie auf der Binnenseite, was doch bekanntlich nicht der Fall ist. Immer sollte uns gegenwärtig bleiben, daſs jedes Festland, und wenn es völlig eben wäre, als mächtiges Hochland aus der See aufsteigt und daſs neben der Erhebung von Festlandsmassen, wenn man den Körperinhalt berechnet, wie es zuerst durch A. v. Humboldt geschehen ist, selbst die höchsten Gebirge nur untergeordnete Erscheinungen sind.

Auch wissen wir bereits auf anderem Wege, daſs an der Stelle, wo jetzt die Gebirge stehen, also auf dem Raume ihres Sockels, schon vor der Erhebung trockenes Land war. Von den Alpen, den Pyrenäen und dem Kaukasus setzen wir dies als bekannt voraus; übrigens genügt dazu ein Blick auf irgend eine geologische Karte, die uns zeigt, welche Gebiete von Europa seit den Tertiärzeiten nicht mehr von der See bedeckt wurden[1]). Im Himalaya sind auf Höhen, die bereits der ewige Schnee bedeckt, Knochen vom Rhinoceros, vom Pferd, vom Büffel, von Antilopen gefunden worden[2]); folglich muſsten damals jene Tiere Weiden besucht haben, wo jetzt eine winterliche Einöde herrscht. Dies alles giebt uns Aufschluſs, an welche Bedingungen das Wachstum des festen Landes geknüpft ist. Ragt irgendwo eine unterseeische Hochebene aus dem Meere bis zum Luftkreis trocken empor, so ist die Möglichkeit vorhanden, daſs sich ihr Saum noch höher aufzurichten vermöge. Sind genügende Hebungskräfte in der Tiefe vorhanden, so steigt am Uferrande ein Gebirge auf, worauf durch die Schuttmassen, die an seinem oceanischen Abhange von den zerstörenden Kräften des Luftkreises abgerieben werden, ein neuer Saum Landes sich bilden kann, von dessen Rändern neue Hebungen in späteren Zeiten ausgehen mögen.

So wachsen die Festlande concentrisch oder in Jahresringen immer vom Innern heraus, Küstenstreifen an Küstenstreifen ansetzend, und dadurch allein erklärt sich der Zusammenschluſs der Festlande, so daſs es überhaupt nur zwei groſse Weltinseln giebt, die Alte und die Neue Welt, aufsteigend aus tiefen Weltmeeren. Werden von den

[1]) Sir Charles Lyell, Principles of Geology. 12th edition. London 1875. Vol. I, p. 254.

[2]) Ausland 1864, S. 288.

Festlanden durch Senkungen oder Abreibungen des Meeres Stücke abgetrennt, so wird ihre Wiedervereinigung mit den grofsen Körpern um so schwieriger erscheinen, je kleiner die Oberfläche des abgesonderten Landes ist. So könnte man von der australischen Weltinsel erwarten, dafs sie sich noch immer wieder vergröfsern werde, jedoch schwerlich in der Richtung nach Osten, wo eine Senkung des Landes im Gange ist. Von Madagaskar, dem Reste eines eingeschrumpften vormaligen Festlandes, läfst sich beinahe voraussehen, dafs es einem gänzlichen Erlöschen entgegengehe, und die britischen Inseln möchten wohl auf immer Europa entfremdet bleiben; denn seit der Miocänzeit, als unser Festland über Grofsbritannien, Island und Grönland noch mit Nordamerika zusammenhing, ist die nordatlantische Sohle beständig gesunken.

Allen grofsen Gebirgen gemeinsam ist ein ziemlich auffallender Parallelismus. Namentlich in den südamerikanischen Anden tritt dieses Verhalten mit grofser Strenge auf. Jeder Krümmung, welche die äufsere, dem Ufer entlang streichende Kette ausführt, folgt die nächste, wo eine zweifache, und die dritte an den Stellen, wo eine dreifache Gliederung der Gebirgsmassen vorhanden ist. Auch bei den Alpen, obgleich die einzelnen Strecken viel Selbständigkeit besitzen, herrscht die gegenseitige Abhängigkeit der Streichungslinien von einander vor. Regelrechter aber ist die Erscheinung wohl nirgends als beim Schweizerischen Jura und bei den amerikanischen Appalachen. In beiden Fällen sehen wir die oberen Erdschichten gefaltet, wie wenn mehrfach zusammengelegte Leinwand- oder Papierschichten durch seitliche Verschiebung in auf- und absteigende Wellen gekrümmt worden wären. Bei den Appalachen kam die seitlich schiebende Kraft vom jetzigen Atlantischen Meere her, beim Jura von den Alpen.

Nun ist es sehr bedeutsam, dafs wir den Gegensatz zum Parallelismus, nämlich eine Durchkreuzung zweier Gebirgszüge auf der ganzen Erde nicht wahrnehmen[1]). Manche Zweige der Cordilleren sind allerdings durch Querjoche vereinigt; allein diese sind nicht in der Faltung der Erdrinde begründet, sondern durch die Thätigkeit des Wassers modelliert. Auch kann es so weit kommen, dafs Gebirge von geringerer Erhebung fast senkrecht auf einander stofsen, wie unser Fichtelgebirge einen Knoten darstellt, der durch das Erzgebirge gebildet wird, welches dort auf die Erhebungslinie des Thüringer- und

[1]) Vgl. hierzu auch Albert Heim, Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschlufs an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. Basel 1878. Bd. II, S. 220 f.

Böhmerwaldes trifft[1]). Ebenso hat man am Ostrande Thessaliens, in Attika, auf Euböa und Cypern eine Kreuzung der Kammlinien nachgewiesen[2]). Jede derselben setzt offenbar zwei Perioden des Gebirgsaufbaues voraus: eine ältere, in welcher die Schichten aufgerichtet und gefaltet wurden, und eine jüngere, in der durch Entstehung von Querbrüchen und Absinken von Gebirgsteilen an diesen die querliegenden Kammlinien sich entwickelten. Kleinere Ketten mögen so mit ihren Enden bisweilen rechtwinklig in ein Gebirge eingreifen und eine Art Kreuzung bewirken; grofse Gebirgszüge dagegen durchkreuzen sich nie. Es kommt nicht vor, dafs ein Ural unter dem Kaukasus sich hindurchzöge und am anderen Abhange der Kette wieder auftauchte. Die Schule der Vulkanisten, wie A. v. Humboldt, Leop. v. Buch und Élie de Beaumont, dachte sich die Gebirge auf Spalten als heifsflüssiges Erdinneres emporgequollen. Solche Spalten mufsten nach ihrer Anschauung vorkommen können in jeder Richtung eines gröfsten Kreises auf der Erdoberfläche. Es konnte also nicht ausbleiben, dafs sich doch irgendwo diese Spalten einmal gekreuzt hätten; ja, eine solche Spalte kreuzt auch wirklich das mexicanische Gebiet, und auf ihr liegen zu einer Reihe geordnet sämtliche Vulkane jenes Hochlandes, aber auch nur Vulkane, keine Gebirge. Freilich war man damals noch weit von der Erkenntnis entfernt, dafs die Vulkane nur untergeordnete Nebenerscheinungen sind, welche an den klaffenden Stellen der Erdoberfläche hervorbrechen. Man wird jetzt verstehen, welch hohen Wert A. v. Humboldt darauf legte, dafs er eine echte Kettenkreuzung in Innerasien erkannt zu haben meinte. Er dachte sich nämlich, dafs der westwärts streichende Künlün unter dem nordsüdlich aufgestiegenen Bolor hindurchsetzte und jenseits als Hindukusch sich verlängert habe. Er hat diese Vermutung bildlich dargestellt auf der Karte zu seinem Werke über Centralasien[3]). Seitdem aber haben unsere geographischen Gemälde von Hochasien andere Gesichtszüge angenommen. Der Künlün ist dem Hindukusch weit entrückt; vor allem aber giebt es kein Gebirge Bolor, welches von Nord nach Süd streicht und rechtwinklig vom Künlün durchsetzt wird. Vielmehr findet sich an jener Stelle ein mehr als 50 geogr. Meilen weit von West nach

[1]) B. v. Cotta, Innerer Bau der Gebirge. S. 14. C. W. Gümbel, Geognostische Beschreibung des Königreichs Bayern. Abt. III (Fichtelgebirge). Gotha 1879. S. 629.

[2]) A. Bittner, M. Neumayr und Fr. Teller in den Denkschriften der K. Akademie der Wissenschaften, mathem.-naturwiss. Klasse. Bd. XL (1880), S. 388 ff.

[3]) Vgl. auch A. v. Humboldt, Centralasien. Deutsch von W. Mahlmann. Berlin 1844. Bd. I, S. 578.

Ost sich erstreckendes Hochland, das Pamir-Plateau, welches von unsymmetrisch verteilten Bergmassiven besetzt ist, zwischen denen sich breite Steppenbecken ausbreiten.

Der Mangel an Durchkreuzungen hoher Gebirge deutet uns an, dafs die Kräfte, welche die Hebungen bewirkten, auf denselben Erdräumen nicht rechtwinklig sich begegnen konnten. Wo die Anschwellungen der Erdoberfläche auf einem bestimmten Gebiete ihren Abschlufs erreicht hatten, da konnte nach der Erschöpfung nicht mehr ein zweiter Erhebungsgürtel entstehen, sondern so lange noch hebende Kräfte verfügbar blieben, wurde die Erdrinde immer wieder parallel zur anfänglichen Erhebungsrichtung gefaltet oder aufgerichtet. Dies mufste um so mehr geschehen, als Kettengebirge gleichsam „Verstärkungsrippen der Erdrinde"[1]) sind und somit späteren, in anderem Sinne wirkenden Kräften energischeren Widerstand leisteten als bisher ungefaltete Schichten. Daher stauten sich gewöhnlich die jüngeren Gebirgsfalten an den älteren und schmiegten sich durch Umbiegung an dieselben an, wenn sie sich einander stark näherten.

Die gebirgerhebenden Kräfte haben an verschiedenen Orten der Planetenoberfläche ganz verschiedenartig gewirkt; daher zeigen auch die Gebirge hinsichtlich ihres plastischen Baues die gröfste Mannigfaltigkeit. An manchen Stellen erhielten die Schichten eine äufserst geringe, kaum merkbare Neigung wie an der Ostseite der Felsengebirge und an der Westseite des Ural. Zwar liegt der höchste Punkt der Pacific-Bahn, Station Sherman, 2512 Meter über dem Meeresspiegel; doch erfolgt das Aufsteigen von Ost her so allmählich, dafs es das Auge kaum wahrnimmt. Wer den Ural unter dem 57. Grad (zwischen Perm und Jekaterinburg) überschreitet, hat Mühe, die Wasserscheide genau zu erkennen, da die Neigung des Bodens, insbesondere nach der europäischen Seite hin, eine äufserst geringe ist. Zum Teil gilt dies auch von der Halbinsel Skandinavien, die im Grunde nichts anderes ist als eine grofse Felsentafel, eine mächtige, gewölbartige Falte, welche, am Meere einseitig aufgerichtet, nach Schweden zu sanft abfällt. Gebirgscharakter gewinnen derartige Hochländer besonders dann, wenn die Stirnseite der Anschwellung den verheerenden Wirkungen des Wassers ausgesetzt ist. Skandinavien selbst gewährt uns hierfür das lehrreichste Beispiel. Während der Blick des auf dem Hochlande weilenden Beschauers fast überall über eine weite, eintönige Ebene schweift, treten dem Küstenfahrer an der Westseite zumeist jäh, oft fast senkrecht abstürzende Felswände entgegen. Auch heute noch höhlt das brandende Meer die steilen Uferfelsen am

[1]) Albert Heim, l. c. S. 221.

Grunde aus und bringt die auf ihnen ruhenden Felsmassen zum Falle. So war Karl Vogt Zeuge eines gewaltigen Felssturzes; eine ungeheure Steinmasse brach unter fürchterlichem Gedonner zusammen und sank teils in den Fjord hinab, teils blieb sie am Wasserrande liegen[1]).

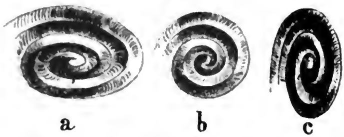
Die angeführten Gebirge besitzen Schichtenflächen mit äufserst geringer Neigung. Vielfach aber wurde die Erdrinde zu deutlicher ausgesprochenen Kämmen gefaltet, von denen sich öfter, wie bereits erwähnt, mehrere parallel neben einander aufrichteten, und so wurden Faltensysteme geschaffen, wie der Schweizer Jura und die Alleghanies. Ein Querschnitt durch diese Gebirge zeigt zahlreiche Gebirgswellen; breite Kämme und flache Mulden wechseln mit einander ab, und in letzteren breiten sich oft Seen aus. Ursprünglich mögen auch die Alpen aus verhältnismäfsig flachen Anschwellungen und Mulden bestanden haben, bevor nämlich die Flüsse die letzteren zu tiefen Thälern ausnagten. Daher erscheint auch die Einfachheit des anfänglichen Faltenwurfes jetzt vielfach verwischt. So wissen wir von Thälern, welche in der Gegenwart durch ansehnliche Querriegel von einander geschieden sind, dafs sie einstmals eine grofse Falte bildeten, so das Thal Wallis (Rhônethal), das Urserenthal (Thal der oberen Reufs) und das Vorderrheinthal, zwischen denen sich jetzt trennend die Querstöcke der Furka und der Oberalp erheben.

Gegenwärtig gilt es als eine allgemein anerkannte Thatsache, dafs solche Faltungen keine ursprünglichen Erscheinungen waren, sondern sich erst durch spätere Lagerungsstörungen entwickelten. Als Beweis hierfür sei nur folgendes angeführt. Nicht selten sind plattenförmige Rollstücke in steilstehenden Schichten so übereinander gestellt, dafs sie ihre scharfen Ränder einander zukehren, wobei ihre Längenachse mit der Schichtungsfläche eine und dieselbe Richtung hat. Eine solche Lagerung aber konnten sie unmöglich von Anfang an besessen haben. Ferner erlitten Fossilien in aufgerichteten Schichten vielfach eine vollständige Verzerrung, was nur als eine Wirkung des auf sie ausgeübten Druckes betrachtet werden kann. Selbstverständlich unterlagen die ganzen Schichten einem gleichen Drucke und einer dem entsprechenden Aufrichtung. Oberflächliche Sammler liefsen sich verleiten, neue Arten aus jenen Karikaturen zu schaffen, wie z. B. Spirifer disjunctus, wenn er plattgequetscht auftrat, zu einem Spirifer giganteus erhoben wurde. Das gleiche Schicksal erlitt Euomphalus pentagulatus (Fig. 81), welcher in seinen zerquetschten Exemplaren zu

[1]) Karl Vogt, Nordfahrt entlang der norwegischen Küste etc. Frankfurt a. M. 1863. S. 241 f.

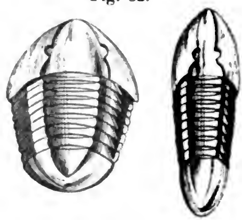
einem neuen Gattungsnamen (Ellipsolithes) durch übereilte Klassifikation gelangte. Sieht man freilich die Formen neben einander und finden sich auch noch die Übergänge, so hält man derartige Mifsgriffe für unbegreiflich. Fig. 82 stellt einen Trilobiten vor und nach der Schieferung vor[1]). Ebenso beweist die horizontale oder stark geneigte Lage fossiler, noch mit dem Wurzelwerk versehener Baumstämme in allen denjenigen Fällen eine starke Aufrichtung der Schichten, in welchen jene Stämme normal auf denselben stehen. Die Änderung ihrer senkrechten Stellung kann hier auf nichts anderes zurückgeführt werden als auf die Aufrichtung der Schichten.

Fig. 81.



Euomphalus pentagulatus von Little Island (Cork): von oben nach unten gequetscht. natürliche Form. durch seitlichen Druck gequetscht.

Fig. 82.



Asaphus Homfrayi: natürliches Aussehen. verzerrt durch Schieferung.

Obwohl nun die Schichtenaufrichtung selbst von niemandem mehr bezweifelt wird, so ist es doch eine vielumstrittene Frage, wie sich die vorhandenen Lagerungsstörungen vollzogen haben. Da jedes Gesteinsmaterial bis zu einem gewissen Grade elastisch biegsam ist, so bietet die Erklärung schwacher Faltungen keine Schwierigkeiten dar; sie konnten sich bilden, ohne dafs Brüche und Spalten hierbei entstanden. Aber bei den staunenerregenden Windungen der Gesteinslagen, denen wir in den Gebirgen begegnen, ist die Elasticitätsgrenze vielfach bedeutend überschritten. Häufig sind derartig gebogene Schichten von Klüften und Rissen durchsetzt, welche teils offen geblieben, teils durch Mineralsubstanz ausgefüllt worden sind; nicht selten trat bei der Schichtenfaltung auch eine völlige Zermalmung des Gesteins ein, dessen Pulver und Scherben dann meist durch das Wasser wieder verkittet wurden. In anderen Fällen war die Zerklüftung des Gesteins eine so aufserordentlich feine, dafs sie erst mit Hilfe des Mikroskops erkannt werden konnte. Endlich aber darf auch eine bruchlose Biegung des Gesteins für viele starke Schichtenfaltungen als erwiesen gelten, obwohl

[1]) Nach David Forbes im Ausland 1870, S. 493.

dies gegenwärtig noch von mehreren Forschern[1]) durchaus in Abrede gestellt wird. Die strengen Untersuchungen Albert Heims[2]), welche sich auf direkte Beobachtung, Messung und mikroskopische Prüfung gründen, zeigen uns auf das klarste, dafs unter hohem, allseitigem Druck auch spröde Gesteine bruchlose Biegungen erleiden können. Es vollzieht sich dann eine Umformung, bei welcher kein Raum für die Bildung von Spalten vorhanden und somit auch kein Bersten in einzelne Stücke möglich ist, d. h. es findet eine bruchlose, rein molekulare Verschiebung der Massenteilchen statt.

Die Schichtenstörungen, deren Schauplatz einst unsere Gebirge waren, sind von überaus mannigfaltiger Gestalt. Einige der wesentlichsten sollen an der Hand geologischer Querprofile in dem folgenden erläutert werden.

Bisweilen erlangten die Schichten eine völlig vertikale Richtung; von diesen sagt man, dafs sie auf dem Kopfe stehen. Verblieb es auch hierbei nicht, sondern schritt die Bewegung, aus welcher die senkrechte Stellung resultierte, in gleichem Sinne weiter fort, so kam eine Überkippung der Schichten zu stande, wobei in einer Schichtenreihe buchstäblich das Unterste zu oberst zu liegen kam. Für derartige Vorgänge bieten uns die Alpen, in denen am frühesten die Lagerung der Schichten erforscht worden ist, mannigfache Beispiele.

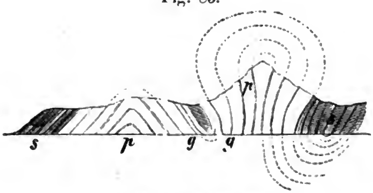
Scheuchzer und H. B. de Saussure waren die ersten, die uns genaueres über die Lagerung der Gesteinsschichten in den Alpen berichteten und sich hierzu geologischer Querschnitte bedienten. Der letztere hatte bereits die Fächerstellung der krystallinischen Centralmassen am Montblanc auf dem Wege von Blaitière nach Chamonix erkannt. Später zeigte vor allem Bernh. Studer, dafs die krystallinischen Massen in den centralen Zonen der Alpen, wenn sie bis zu einer gewissen Höhe emporgedrängt wurden, barsten, worauf sie sich wie die Halme von Garben aus einander legten. So entstand ihre Fächerstruktur. Die Gneise *g* und Schiefer *s* (Fig. 83), welche die

[1]) So von Friedrich Pfaff (Der Mechanismus der Gebirgsbildung. Leipzig 1879), F. M. Stapff (Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie 1879, S. 798—809 und 1881, Bd. I, S. 184—194) und C. W. Gümbel (Sitzungsberichte der mathem.-physik. Klasse der K. Akademie der Wissenschaften zu München. Bd. X (1880), S. 596—623).

[2]) Albert Heim, Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschlufs an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. Basel 1878. Bd. II, S. 9. 23 f. 31—75 u. a. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. XXXII (1880), S. 268 f. 271. Vgl. hierzu auch A. Baltzer im Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie 1882, Bd. I, Referate S. 33.

äufsere Umhüllung dieser ungeheuren Auftreibungen bilden, wurden nach den Seiten zurückgebogen, während die Granite und Protogine zwischen ihnen in nahezu vertikaler Stellung verharrten. Ein gröfserer oder geringerer Teil des Gewölbes wurde durch die Verwitterung zerstört. Manchmal rücken zwei krystallinische Kernmassen einander so nahe, dafs sie sich in derselben Kette fast berühren, die eine vielleicht mit Fächerstruktur, die andere mit dachförmiger Lage der Schichten, wie es Fig. 83 zeigt. Der Fächerstruktur begegnen wir unter anderem

Fig. 83.



Gneisfächer nach Desor.
p Protogin. *g* Gneis. *s* Schiefer.

am Montblanc und am St. Gotthard, der Dachstruktur in den Tauern. Bemerkt man nur an den unteren Schichten eine dachförmige Lage, an den oberen hingegen eine schwache Böschung, so spricht man von einem Gewölbebau (Monte Rosa, Simplon). Endlich ist auch eine völlig parallele Schichtenlage in den Centralmassiven vielfach zu beobachten (Aiguilles Rouges, Fig. 84).

Brachen die krystallinischen Massen in mehreren parallelen Zonen hervor, so wurden die von ihnen umschlossenen Mulden durch die krystallinischen Felsarten an beiden Flanken emporgehoben und bisweilen gänzlich umgebogen wie etwa die Blätter eines Buches, so dafs die Sedimentärgesteine in den inneren Räumen fast ganz verschwanden (vgl. Fig. 84 und 85).

In ausgezeichneter Weise tritt die Fächerstruktur, sowie die Umbiegung und Überkippung der sedimentären Schichten am St. Gotthard zu Tage (Fig. 85). Der mittlere granitische Kern stellt ein breites Plateau dar; auf dem höchsten Punkte der Pafshöhe befindet sich das Gotthardhospiz. Von hier aus begegnet man sowohl in der Richtung nach Andermatt als auch nach Airolo Granit in mächtigen, aufgerichteten Bänken. Dieselben sind am Nordabhang nach Süden geneigt; am Südabhang hingegen fallen sie in nördlicher Richtung ein, und so entsteht der bekannte Fächer des St. Gotthard. Im Urserenthale (Andermatt) wie im Thale von Airolo treffen wir am Fufse der

krystallinischen Gesteine auf vollständig umgebogene Schichten von dunklem Schiefer. Weiter folgt nach Norden eine krystallinische Masse

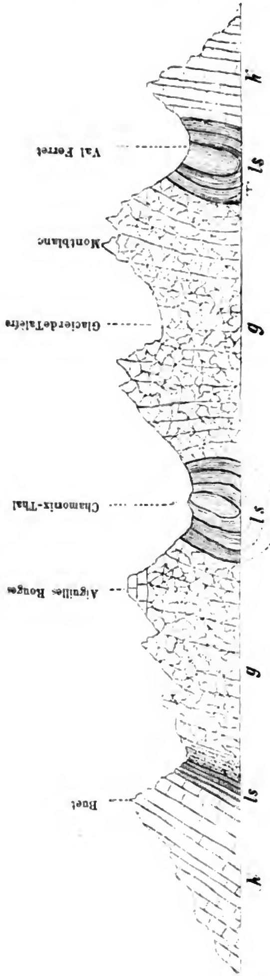


Fig. 84.
Geologisches Querprofil des Montblanc.
g Gneis und Granit. *ls* Lias. *k* Jurakalk.

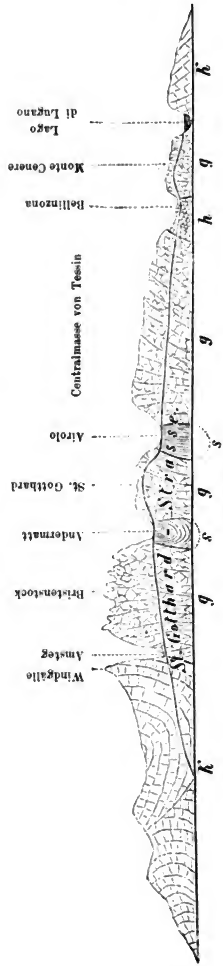
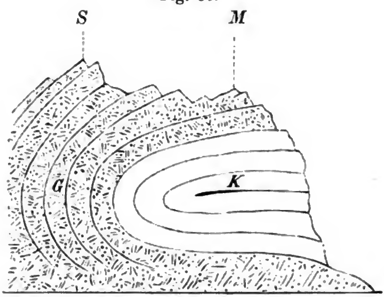


Fig. 85.
Geologisches Querprofil des St. Gotthard.
k Kalk. *g* Gneis und Granit. *s* Schiefer (metamorphische). *h* Hornblendeschiefer.

mit Fächerstruktur im Bristenstock und ebenso im Süden jenseits Airolo und sogar eine zweite südlich von Bellinzona. Offenbar drangen die krystallinischen Massen hier empor, als sich die übrigen (jüngeren) Schichten bereits abgelagert hatten. Durch einen gewaltigen seitlichen Druck, der still und unvermerkt, aber durch lange Zeiträume hindurch unausgesetzt wirkte, wurden die jüngeren Schichten gleichzeitig mit dem Urgestein mächtig gefaltet, bis endlich die Decke zerriſs und der Gneis nicht nur hervortrat, sondern sich auch fächerförmig ausbreitete und zugleich die darüber liegenden jüngeren Schichten nach der Auſsenseite gewaltsam umbog. Verwitterung und Erosion haben zur Bloſslegung der Centralmassive wesentlich beigetragen. Meisterhaft schildert uns Goethe den Prozeſs der Gebirgserhebung im Faust (2. Teil, S. 297 f. im 5. Band der Cottaschen Ausgabe), indem er den in der Tiefe brummenden und polternden Seismos sprechen läſst:

„Einmal noch mit Kraft geschoben,
Mit den Schultern brav gehoben!
So gelangen wir nach oben,
Wo uns alles weichen muſs.“

Fig. 86.



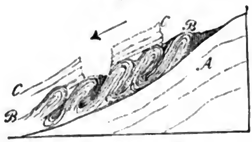
Geologisches Profil des Mettenberges (Berner Oberland).
G Gneis. S das Kleine Schreckhorn.
K Kalkstein. M Mettenberg.

Das beistehende Profil des Mettenberges (Fig. 86) giebt uns ein auſserordentlich lehrreiches Bild von den mächtigen Schichtenstörungen, deren Schauplatz einst das Alpengebiet war. An diesem Berge erscheint eine mächtige Kalkmasse K knieförmig umgebogen; sie stürzt nach dem Thale von Grindelwald gegen 1000 Meter tief ab. Hier läſst sich die Stratification des Kalkes in ihrem ganzen Verlaufe verfolgen, und auf der Höhe des Berges erkennt man deutlich, daſs die Schichtenfolge verkehrt liegt gegen die am Fuſse bei Stieregg, im

Hintergrunde des unteren Grindelwaldgletschers, beobachtete. Bei Stieregg wie auf der Höhe zeigt der Gneis dieselbe Struktur; er bleibt sich unter, neben und über dem Kalk vollkommen gleich, ohne die geringste Beziehung zur Lagerung[1]). Indem wir über jene Gneismassen hinwegschreiten, wandeln wir gewissermaſsen auf den Eingeweiden der Erde, und es dünkt uns, wie wenn hier jene Worte Hiobs (im Buche Hiob Kap. 9, V. 5) zu That und Wahrheit geworden wären: „Gott versetzet Berge, ehe sie es inne werden, die er in seinem Zorn umkehret." In den Schweizer Alpen ist es beinahe Regel, daſs das Knie der C-förmigen Biegung den Hochalpen zugewandt ist, als ob der den krystallinischen Massen näher gelegene Teil der Sedimentärgesteine mit ihnen gehoben und dann übergestürzt wäre. Doch fehlt es keineswegs an Ausnahmen: so ist das Knie der Brienzergräte gegen Nord gerichtet, und in weit gröſserer Ausdehnung noch zeigt die Hauptkette von der Gemmi bis an die Diablerets diese Biegung an ihrem Nordabfall[2]). Bisweilen biegt sich der Schenkel eines C-förmigen Schichtensystems nochmals über, und so entsteht eine S-förmige Lagerung (so am Grat ob Baberg, am Brünnelistock und am Wetterhorn). Noch komplizierter ist der Bau der Jungfrau, wo Kalk und Gneis so zackig in einander greifen, daſs eine Doppelfalte zu stande kommt. Die innere Architektur des Gstellihorns (in der Kette der Engelhörner) ist sogar der Art, daſs an seinen Abhängen Gneis und Kalk viermal mit einander wechseln.

Die Erhebung der Gebirge war jedoch noch von ganz anderen Vorgängen begleitet als von den geschilderten. Waren zwischen bereits starr gewordenen Gesteinsschichten (Fig. 87, *A* und *C*) solche von plastischer, noch biegsamer Beschaffenheit (*B*) eingeschaltet, z. B. als Schlamm abgesetzte Thone, so wurden diese Massen bei der Aufrichtung der Gebirge von oben nach unten gedrängt, und die ganze hängende Schichtenreihe äuſserte das Bestreben, auf der schiefen Ebene herabzugleiten. Die tieferen Partien der plastischen Schicht wurden aufgestaut und zusammengepreſst und nahmen die auffallendsten Windungen und Faltungen an, obwohl sie von vollkommen starren, parallel liegenden Bänken eingeschlossen waren.

Fig. 87.



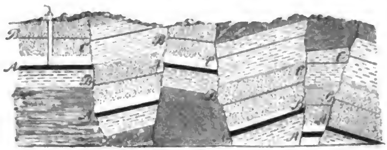
Schichtenstauchung.

[1]) Bernh. Studer, Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie. Bern, Chur und Leipzig 1847. Bd. II, S. 157.

[2]) B. Studer, l. c. Bd. II, S. 216 f.

Ferner waren mit der Aufrichtung und Faltung der Gebirge sehr häufig Spaltenbildungen und Verwerfungen verbunden. Sie traten dann ein, wenn die Biegung die Dehnbarkeit der Gesteinsmassen einigermafsen überschritt. Gebirgsteile, welche durch Spalten von einander geschieden wurden, konnten nun von lokalen Bewegungen und Schichtenstörungen betroffen werden, an denen wohl das eine, nicht aber auch das andere Gebirgsglied Anteil hatte. Die auf solche Weise hervorgebrachten Verrückungen nennt man Verwerfungen (Dislokationen), die Spalten aber, durch welche dieselben möglich wurden, Verwerfungsspalten (Dislokationsspalten) (Fig. 88). Die Ursache der

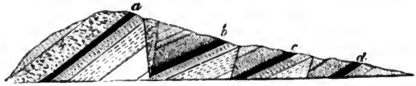
Fig. 88.



Vielfach zerstückelte und verworfene Steinkohlenformation von Auckland in Durham.
A, *B*, *C* Kohlenflöze.

Verwerfung war meist eine Senkung des hangenden Gebirgsteiles, eine Rutschung desselben auf einer Spaltenwand des Liegenden; höchst selten nur wurde die Verwerfung durch Emportreibung des liegenden Gebirgsteiles hervorgerufen. Die Gröfse der stattgehabten Niveauveränderung heifst die Sprunghöhe. Sie beträgt oft nur wenige Centimeter, oft auch einen oder mehrere Meter, in einzelnen Fällen aber sogar mehrere Hunderte von Metern. Liefen die Verwerfungsspalten parallel oder nahezu parallel, so konnte ein treppenförmiger Schichtenbau (Fig. 89) entstehen, welcher scheinbar aus regelmäfsig abwechselnden Schichtenreihen zusammengesetzt ist, während sich doch in Wirklichkeit ein und derselbe, aber in kurzen Zwischenräumen verworfene Schichtenkomplex wiederholt. An der Schwarzwaldbahn zwischen Zuffenhausen (nördlich von Stuttgart) und Calw finden sich nach

Fig. 89.

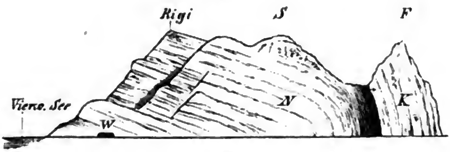


a, *b*, *c*, *d* Flügel eines treppenförmig verworfenen Kohlenflözes.

O. Fraas[1]) acht gröfsere und zahlreiche kleinere treppenartige Verwerfungen der Triasformation, deren verschiedene Abteilungen eine Niveaudifferenz von 350 bis 450 Metern zeigen, und zwar ist hier immer der östliche Teil an dem westlichen, dem Schwarzwald näher liegenden Teile, abgesunken, ohne dafs jedoch die Schichten stets gegen Osten hin geneigt sind.

Nicht selten wurde durch die vorgängige Bildung von Spalten und Verwerfungen den Schichtenaufrichtungen, Überkippungen und Faltungen ein besonderer Charakter aufgeprägt. Bei dem Rigi fallen, wie aus dem beifolgenden Profil (Fig. 90) ersichtlich ist, die Schichten

Fig. 90.



Der Rigi.

W Wäggis.
S Schneeälpli.
F Fitznauerstock.
N Nagelflue.
K Sekundärer Kalkstein.

nur nach einer Seite; der Bergrücken zeigt auf dem einen und zwar auf dem flacheren Abhang die Schichtenfläche, auf dem anderen, schroffen Abfall hingegen die Schichtenköpfe. Der plötzliche Abbruch derselben weist darauf hin, dafs hier einstmals ein tiefer Spalt vorhanden war, ehe jene Kette durch einen von Süd her wirkenden Druck aufgerichtet wurde. Früher erklärte man eine derartige Lagerung der Schichten durch Annahme einer Klappenbewegung (mouvement de bascule); doch fehlt hier wie in den meisten ähnlichen Fällen der Raum zu einer solchen Drehung, was aus dem Rigiprofil auch insofern geschlossen werden darf, als der Bergrücken des Rigi offenbar auf die ihm vorliegenden Massen angeprefst ist.

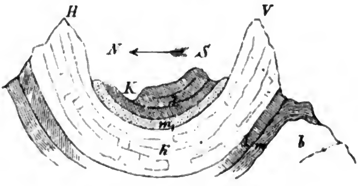
War ein Schichtenkomplex von zwei parallelen Spalten durchzogen, so konnte die centrale Zone innerhalb derselben, wenn sie von beiden Rändern her eine Hebung erfuhr, zu einer Mulde umgebogen werden, an deren steilen Aufsenseiten nun die blofsen Schichtenköpfe zu Tage traten. Die zwei Züge des Kaisergebirges im Südosten von Kufstein (s. Fig. 91) gewähren uns ein vorzügliches Beispiel einer solchen Mulde. Ihr nördlicher Rand wird durch den Hinteren oder Ebser

[1]) Württembergische naturwissenschaftliche Jahreshefte. Bd. XXXII (1876), S. 128.

Kaiser gebildet, und den Vorderen oder Wilden Kaiser mufs man als ihren Südrand ansehen[1]).

Nicht selten entstanden beim Aufsteigen der Gesteinsmassen auf dem Kamme der Anschwellung mächtige Spalten; diese wurden durch die weitere Biegung der Schichten allmählich vergröfsert, und so stellte

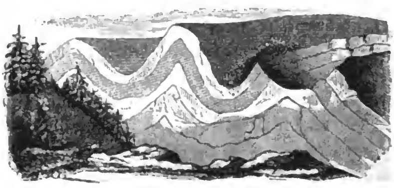
Fig. 91.



Die Mulde des Kaisergebirges.
H Hinterkaiser. *V* Vorderkaiser. *K* Kaiserthal. *b* Buntsandstein der Alpen. *d* Keuperdolomit. *k* Unterer Keuperkalk. *l* Lettenkohlenschichten. *m*, Unterer Muschelkeuper. *m* Muschelkalk.

sich eine Aufberstung der Sättel auf ihrem Rücken ein. Diesem entlang laufen demnach vielfach Thäler, welche man als Spaltungs- oder antiklinale Thäler bezeichnet. Im Schweizer Jura nennt man derartige Aufsprengungen des Gewölbebaues Clusen (s. Fig. 92).

Fig. 92.



Profil aus dem Schweizer Jura. Rechts ein Spaltungsthal, links Faltungsthäler.

Ist in einem gefalteten Gebirge, welches von einem Längsbruche durchsetzt ist, der innere Flügel zur Tiefe hinabgesunken, so tritt nicht selten das Bestreben der Schichten hervor, den Bruch in einer der gewöhnlichen Faltung widerstreitenden Richtung zu überfalten. Diese Erscheinung bezeichnet man als Rückfaltung. So ist über einen nordwestlich streichenden Bruch am Südrande des Iser- und Riesen-

[1]) K. Haushofer in der Zeitschrift des Deutschen Alpenvereins. Bd. I. Vereinsjahr 1869—1870. München 1870. S. 248.

gebirges Granit nebst anderem Urgestein gegen Südwest über weifsen Jura und Kreide herübergebeugt; das Urgestein liegt demnach in einer Richtung, welche dem normalen Gebirgsbau durchaus widerspricht. Ähnliche Überschiebungen von Granit über Jura und Kreide hat v. Dechen im Lausitzer Gebirge nachgewiesen[1]).

Wir haben bisher die Gebirge immer als Gebäude von hoher Majestät und Würde betrachtet, während sie doch in Wirklichkeit nur Ruinen sind. Unsere Alpen, obwohl noch relativ jung, waren ursprünglich eine mit sanft geschwungenen Höhenrücken besetzte Tafelzone, welche von einzelnen Klüften durchzogen war. Erhielt dieselbe auch später durch die zwar still und unmerklich, aber während ungeheurer Zeiträume um so erfolgreicher wirkenden gebirgerhebenden Kräfte ein reicher bewegtes Relief, so ist doch die eigentliche Modellierung der Bergformen, sowie der Thäler anderen Faktoren zuzuschreiben: nämlich der Verwitterung und der Erosion des fliefsenden Wassers. Diese beiden Faktoren verrichteten gewissermafsen die bildhauerische Arbeit in unseren Gebirgen und schufen die unendliche Mannigfaltigkeit ihrer Berggestalten und ihrer malerischen Linien.

An der Verwitterung (das Wort im weitesten Sinne genommen) sind insbesondere Nässe, Temperaturwechsel, Pflanzen und Wind beteiligt. Kein Wasser ist vollkommen rein; selbst das aus der Luft herabgefallene Regenwasser führt, wenn auch in geringem Mafse, die Gasarten der Luft mit sich und wird so durch seinen Kohlensäuregehalt zu einer schwachen Säure, durch seinen Sauerstoffgehalt zu einem schwachen Oxydationsmittel. Natürlich ist die chemische Energie des Regenwassers äufserst gering; aber diese Kraft, deren Leistungen in einer kurzen Spanne Zeit verschwindend klein sind, vermag doch in Jahrtausenden ganz grofsartige Erfolge zu erzielen, namentlich wenn das Wasser dabei durch Schichten verwesender Pflanzen hindurchsickert, in denen es neue, durch Fäulnis der organischen Substanz sich bildende Kohlensäure aufnimmt. Manche Gesteine werden vom atmosphärischen Wasser direkt gelöst (Gips, Steinsalz, Kalkstein, Dolomit); aber auch alle die anscheinend unlöslichen Mineralien aufser Gold und Platin können dem kohlensäurehaltigen Wasser für die Dauer nicht widerstehen. Sie werden erst zersetzt und die einzelnen Teile dann gelöst. Bei diesen Vorgängen ändert sich meist zunächst die Farbe des Gesteins; hierauf verliert die ganze Gesteinsmasse, zugleich durch gefrierendes Wasser mehr oder weniger zersprengt, ihr festes Gefüge und wird schliefslich zu einem Haufen gröfserer Brocken oder feinerer Körner.

[1]) Eduard Suefs, Das Antlitz der Erde. Prag und Leipzig 1883. Bd. I. S. 181 f.

Durch den Wechsel von Tageswärme und Nachtkühle wird das Gestein an der Oberfläche Tag für Tag ausgedehnt und wieder zusammengezogen. Hierdurch lockert sich dasselbe mehr und mehr auf, und in die feinen Ritzen und Spalten dringt nun das Sickerwasser ein. Gelangt hierbei die Temperatur bald über, bald unter den Gefrierpunkt, so tritt der Frost als ein mächtiger Zerstörer hinzu. Beim Gefrieren dehnt sich nämlich das Wasser mit großser Gewalt um 9 Prozent seines Rauminhalts aus und arbeitet so unablässig an der Erweiterung der von ihm erfüllten Klüfte. Recht hartes, nur wenig von Rissen durchkreuztes Gestein verwandelt sich nach und nach in eine Anzahl von gröfseren Blöcken; poröses, mit Wasser völlig getränktes Gestein hingegen zerfällt in kleinkörnigen Sand und Grus. Auf den freien, kahlen Kämmen und Gipfeln unserer Gebirge trägt der Frost am meisten zur Zerrüttung des Gesteins bei; viele Gipfel macht er zu wahren Trümmerhaufen, von denen kein Block mehr als einen Meter im Durchmesser mifst. Solche Berge werden im Munde der Alpenbewohner gar häufig als „Faulberg", „Faulhorn", „Faulen" bezeichnet.

In ähnlicher Weise wie der Frost arbeiten vielfach auch die Wurzeln der Pflanzen an der Auflösung des Gesteins. In kleine Spalten eingedrungen wachsen sie nicht selten unwiderstehlich weiter, wodurch die Spalten immer länger und breiter werden; namentlich geschieht dies, wenn das Gestein schiefrig ist. Durch die Wurzeln von Kiefern sind auf diese Weise schon oft mächtige Blöcke, die im Anfang nur geringfügige Spalten besafsen, von dem Fels losgesprengt worden. Kleinere Pflanzen können ähnliche Wirkungen ausüben; doch schützt ein gleichmäfsiger Pflanzenteppich gleichzeitig auch den Felsengrund, indem er ihn vor jähen Temperaturwechseln bewahrt.

Das kleinere und gröbere Geröll, welches chemische und mechanische Kräfte dem Felsen entrissen haben, wird durch Wind und Wasser von seiner ursprünglichen Stätte fortgeführt. Der Wind entwickelt besonders auf hohen isolierten Gipfeln seine volle Kraft und säubert die Bergeshöhen vielfach derart, dafs kein Gesteinssplitterchen auf ihnen bleibt. Starke Wirbelstürme fegen hier sogar gröfsere Gesteinsblöcke hinweg. Im übrigen besorgt das Wasser diesen Transport; doch spült dieses nicht allein die bereits vorhandenen Gebirgstrümmer fort, sondern vertieft auch selbst, die fortgetragenen Steinmassen als Feile benützend, die Thalfurchen immer mehr. Die letztere Thätigkeit bezeichnet man im Gegensatz zur chemischen Erosion als m e c h a n i s c h e E r o s i o n. Natürlich wird das von den Flüssen fortgewälzte Gestein um so mehr vom Wasser zerrieben und abgerundet, je weiter es bewegt wird, und kommt demnach als Sand und Schlamm in grofser Entfernung von seinem Ausgangspunkte an.

Welche Riesenmasse von Spänen der unermüdliche Meifsel von dem Gebirge losarbeitet, sei nur an einem Beispiele erläutert. Nach den sorgfältigen Messungen des Ingenieur Fr. Becker lagert die Reufs an ihrer Mündung in den Vierwaldstätter See alljährlich ca. 150 000 Kubikmeter Geschiebematerial ab; aufserdem aber breitet sie noch ca. 50 000 Kubikmeter feinen Schlamm über den ganzen Seegrund aus; sie liefert also durchschnittlich in jeder Stunde ein Schwemmmaterial von 22 bis 23 Kubikmeter. Jeder Quadratkilometer des oberen Reufsgebietes (= 825 Quadratkilometer) verliert demnach alljährlich ein Quantum von 242 Kubikmeter, und die Gebirgsoberfläche desselben wird in 4125 Jahren im Mittel um 1 Meter erniedrigt. Wie staunenswert diese Kraftleistung der Reufs ist, wird sofort klar, wenn wir hinzufügen, dafs ihre Transportfähigkeit derjenigen eines Eisenbahnzuges von 23 Rollwagen (à 1 Kubikmeter fassend) entsprechen würde, welcher Tag und Nacht jede Stunde einmal beladen durch den unteren Teil des Kantons Uri herunter führe. Wenn wir dennoch die Wirkung so gewaltiger Abtragungen erst nach Verlauf langer Zeiträume wahrnehmen, so ist dies darin begründet, dafs die vom Flufs hinabgeführte Masse trotz ihrer Riesengröfse doch im Vergleich zu dem Gebirgsganzen verschwindend klein ist[1]).

Aus den Trümmern unserer gegenwärtigen Gebirge vermag das Auge des Forschers den ursprünglichen Bau des Ganzen in ähnlicher Weise zu rekonstruieren wie etwa ein Archäolog aus einigen Treppen-, Säulen- und Giebelresten einen altgriechischen Tempel. So hat man erkannt, dafs in den inneren Ketten der Alpen die jetzt über das Meeresniveau aufragende Masse einst doppelt so grofs war als heute. Über dem Gipfel des Tödi sind einige hundert Meter Gestein abgewittert, über dem Finsteraarhorn und dem Monte Rosa über 1000 Meter, über dem Urserenthal wohl über 2000 Meter. Doch darf hieraus nicht gefolgert werden, dafs die genannten Berggebiete einst wirklich um jene Masse höher waren als jetzt. Dies ist nämlich deshalb unmöglich, weil schon während der Erhebung ansehnliche Stücke des Gebirges durch die Verwitterung und Erosion abgetragen wurden[2]).

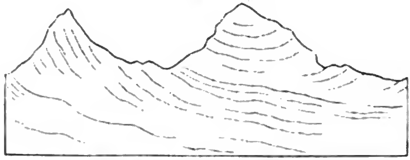
Anfänglich erleiden die Gebirge durch die erodierende Thätigkeit der Flüsse keinen Verlust an landschaftlicher Schönheit; im Gegenteil werden hierdurch die Gegensätze zwischen Berg und Thal beständig verschärft; tiefe Schluchten werden durch das Wasser ausgenagt, und der Neigungswinkel der Abhänge wird vergröfsert. Die Verheerungen

[1]) Albert Heim im Jahrbuch des Schweizer Alpenclub. Bd. XIV (1879), S. 387—390.

[2]) Albert Heim, l. c. S. 372 f.

des Wassers sind in einzelnen Fällen so bedeutend, dafs der orographische Bau des Gebirges oft kaum noch zu erkennen ist. Das Wasser schafft Berge da, wo sich eigentlich Thäler finden sollten (vgl. das Profil von den Schwyzer Mythen, Fig. 93), während es anderwärts Thäler an solchen Stellen ausnagt, wo sich Berge erheben sollten (Fig. 94).

Fig. 93.



Querprofil der Schwyzer Mythen.
Durch die Erosion werden Berge geformt, wo sich Thäler vorfinden sollten.

Fig. 94.



Durch die Erosion werden Thäler geschaffen, wo Berge stehen sollten.

Trotzdem müssen wir behaupten, dafs unter der Herrschaft der Erosion einstmals die Gebirge aller ihrer landschaftlichen Reize beraubt werden; denn selbst die stolzesten Hochgebirge werden durch das Wasser nach und nach erniedrigt. Mit geringerem Gefäll eilen dann die Flüsse die Thäler hinab; an denselben Stellen, wo sie ehemals das Gestein ausfurchten, schütten sie nun die Thalmulden auf. Indem sie die Höhen abtragen und den Schutt in den unteren Theilen der Gebirge ablagern, werden die Profile besänftigt, und es entschwinden die schönsten Züge der Gebirgswelt. Vor allen Dingen verliert diese jene herrlichen Zierden, aus denen uns ihr Spiegelbild entgegentritt: die Seen. Mögen sie völlig abgeschlossen liegen oder von einem Flufs durchzogen werden: jedes Wasser, was ihnen zu- oder durch sie hindurchrinnt, jedes Gewitter und jedes schmelzende Schneefeld führt Sand und Schutt in ihr Becken, und jeden Tag vermindert sich, wenn auch unmerklich, der Rauminhalt dieser Gefäfse. Viele Alpenseen sind in historischen Zeiten entschwunden[1]; doch haben die Meteorwasser

[1]) Das obere Ende des Vierwaldstätter Sees, der sogenannte Urnersee (von Flüelen bis zum Mythenstein) wird, falls die gegenwärtigen meteorologischen Voraussetzungen bestehen bleiben, durch die Reufs und einige kleine Bäche in ca. 20 Jahrtausenden ausgeschüttet werden.

in den Alpen und ebenso in den Felsengebirgen noch nicht so viel Zeit gehabt, um alle jene Seen auszufüllen und in glatte Thalebenen zu verwandeln. Wir schließen daraus, daß beide später aufgestiegen sind als die Pyrenäen und der Kaukasus, weil sie ihre Jugendreize sich noch erhalten konnten. Geologisch gesprochen sind die Alpen und die Felsengebirge jugendliche Erhebungen der Erdoberfläche, jünger jedenfalls als die Pyrenäen und der Kaukasus. Da die Gebirgsseen in unseren östlichen Alpen fehlen und am häufigsten in der Schweiz auftreten, so würde die Vermutung berechtigt erscheinen, daß die westlichen Alpen eine jüngere Erhebung als die Ostalpen seien. Und wirklich bestätigt auch die Geologie vollständig diese Annahme; die Hebung stand in den Ostalpen viel früher still als in den westlichen Alpen [1]). Ältere Erdräume sind meist nur dann seenreich, wenn sie hohen Breiten angehören, wo zeitweilig (besonders in der Eiszeit) Eismassen schützend die Seebecken überlagerten. Daher besitzen die skandinavischen und schottischen Gebirge trotz ihres hohen Alters noch eine reiche Fülle von Seen. Umgekehrt werden die Seen in reich benetzten tropischen Gebirgen verhältnismäßig rasch durch den Schutt der Flüsse ausgefüllt. So vermissen wir an der regenreichen Südseite des Himalaya, obwohl dieser zu den jüngsten Gebirgen der Erde zählt, alle größeren Seen; gegenwärtig verraten dort nur merkwürdig abgeflachte Thalstufen die frühere Ausdehnung der Seebecken [2]).

Abtragung und Ausschüttung arbeiten einander überall in die Hände; ein großer Nivellierungsprozeß geht durch die ganze Natur und endet einstmals damit, daß sich an Stelle der heutigen Gebirge weite Ebenen ausbreiten werden, von denen der Geolog allenfalls noch nachweisen kann, daß sie früher Gebirgen von größerer oder geringerer Mächtigkeit als Grundlage dienten.

Die schematische Entwicklung der verschiedenen Lagerungsformen, wie sie oben gegeben wurde, hat vielleicht bei dem einen oder dem anderen der Leser den Eindruck hinterlassen, als seien dieselben überall leicht zu erklären. Völlig enttäuscht aber findet man sich, wenn man mit einer derartigen Meinung an Ort und Stelle im Gebirge die Untersuchungen beginnt. Teilweise liegen die Schwierigkeiten in der Unregelmäßigkeit der Schichtung; denn Erhebungen, Biegungen, Überkippungen und Verwerfungen haben fast überall die Ordnung der Schichtenfolge gestört. Teilweise knüpfen sich jene Schwierigkeiten an die Beschaffenheit des Bodens; denn die Felsarten

[1]) O. Peschel, Abhandlungen zur Erd- und Völkerkunde (herausgeg. von J. Löwenberg). Leipzig 1878. Bd. II, S. 321 ff.

[2]) Petermanns Mitteilungen 1880, S. 461.

verändern häufig ihren ursprünglichen Charakter: Mergel und Thone verwandeln sich in Schiefer, Kalke in krystallinischen Marmor, Dolomit und Rauchwacke. Endlich sind auch die Fossilien selten gut erhalten, und oft genug trifft man unter vielen derselben nur wenige charakteristische Arten. Speciell in den Alpen sind die Lagerungsverhältnisse so mannigfach und so oft scheinbar systemlos, dafs bereits der Genfer Gelehrte H. B. de Saussure den Grundzug in dem geologischen Bau der Alpen in das Wort zusammenfafste: In den Alpen ist nichts beharrlicher als der Wechsel.

Immerhin ist der Forscher jetzt viel glücklicher daran als ehedem. Er besitzt für viele Gebiete bereits geologische Karten und Profile; er kennt ferner mancherlei Gesetze in der Entwicklungsgeschichte der Gebirge und vermag daher mannigfache Schwierigkeiten rasch zu überwinden. Viele Rätsel bleiben freilich zunächst noch ungelöst; doch werden durch Ermittelung neuer Thatsachen und durch Aufstellung neuer Gesichtspunkte auch solche schwierige Fragen endlich ihre Erledigung finden. Gerade in dieser Hinsicht gewähren geologische Untersuchungen einen hohen Genufs. Die Geologie hat die Berge genötigt, ihre Selbstbiographie uns zu offenbaren; sie hat gezeigt, dafs man aus den Linien, welche die geologischen Profile aufweisen, ein Bild von dem Kampfe gewinnt, welchen die Naturkräfte in früheren geologischen Zeitaltern geführt haben und heute noch führen. Wir erkennen aus jenen Linien das Ringen der nach oben dringenden Massen mit denjenigen, welche im Zustand der Ruhe verharren wollen oder der Kraft der Schwere folgend nach unten drängen; wir sehen ferner, wie andere Kräfte die Spuren jenes Kampfes wieder verwischen und die Stoffe forttragen, damit der Kampf auf einem anderen Schauplatz von neuem beginne.

Doppelt anziehend ist es, das Ringen dieser Naturkräfte zu belauschen, da aus solchem Kampfe Werke von hoher ästhetischer Wirkung hervorgegangen sind: unsere Gebirge. Die Welt war wohl immer schön, auch vor der Schöpfung des Menschen, aber sicher nicht schöner, wenigstens nicht die Gebirgswelt; denn alle jüngeren (insbesondere die tertiären) Gebirge erscheinen an Energie der Erhebung viel leidenschaftlicher als die Gebirge früherer Zeitalter.

Bis hierher haben wir uns mit Thatsachen und mit Folgerungen aus den Thatsachen beschäftigt. Sollen wir aber das eigentliche Wesen der gebirgerhebenden Kräfte näher bezeichnen, so müssen wir unsere Scheu und unseren Widerwillen vor dem Hypothetischen überwinden und das Gebiet der Vermutungen betreten, indem wir zunächst kritisch mustern, was bereits über die Geheimnisse des Erdinnern gesagt worden ist.

Skandinavien ist ein aufsteigendes Gebirge oder vielmehr eine aufsteigende Hochebene. Es liegt zwischen zwei Meeren, der Nordsee und der Ostsee. Wir können also hier nicht zwischen einem oceanischen und einem festländischen Abhang unterscheiden; doch darf die Ostsee immerhin als ein Binnenmeer betrachtet werden, und wenn einer der beiden Abhänge als oceanisch unterschieden werden mufs, so ist es sicherlich der norwegische. Auch dort auf jener „oceanischen" Seite steigt das skandinavische Hochland schroff empor und breitet sich dann in Ebenen aus, die sich schliefslich sanft nach den schwedischen Ufern herabsenken. Als nun Karl Vogt auf seiner Nordfahrt Skandinavien besuchte, glaubte er in den gehobenen Felsen selbst den Sitz der Hebungskraft zu erkennen. Er behauptete zunächst, dafs die Stockwerke der grofsen skandinavischen Steinplatte ursprünglich aus geschichteten Felsarten bestanden und durch allmähliche Umwandlung in krystallinische übergegangen seien. „Alles, was krystallisiert," ruft er aus[1]), „dehnt sich aus. Wo also die Umbildung einer im Innern formlosen Masse in krystallinische Massen erfolgt, da mufs auch die räumliche Ausdehnung derselben Massen eine notwendige Folge sein." Allerdings könnte man behaupten, dafs Wasser, welches bei 4° C. bekanntlich seine höchste Verdichtung erreicht, sich wieder ausdehnt, wenn es krystallinisch wird, d. h. in Eis übergeht, und zwar unter Entwicklung einer solchen Kraft, dafs es hohle eiserne Kugeln, die mit Wasser gefüllt, dann fest verschlossen und niederen Temperaturen ausgesetzt wurden, zersprengt hat wie eine Granate. Ferner hat sich neuerdings gezeigt, dafs auch Wismut beim Erstarren sich ausdehnt[2]). Allein das Verhalten dieser Körper, welche sich beim Übergang aus dem flüssigen Aggregatzustand in den festen ausdehnen statt zusammenziehen, ist etwas Vereinzeltes oder, wie wir in solchen Fällen zu sagen pflegen, etwas „Anormales". Aufser den genannten Körpern kennt man keinen, welcher beim Eintritt der Erstarrung oder der Krystallisation eine Vergröfserung seines Volumens und eine Verminderung seines specifischen Gewichtes erfährt[3]).

[1]) Karl Vogt, Nordfahrt entlang der norwegischen Küste etc. Frankfurt a. M. 1863. S. 391.

[2]) John Tyndall, Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung. Herausgeg. von H. Helmholtz und G. Wiedemann. 3. Aufl. Braunschweig 1875. S. 107.

[3]) Gustav Bischof erwähnt zwar, dafs einige Mineralien bei der Krystallisation die festen Hüllen zersprengen, von denen sie umgeben sind (so der Wavellit von Langenstriegis bei Frankenberg den harten Kieselschiefer), wobei er jedoch unentschieden läfst, ob hier wirklich eine Volumenvergröfserung vorliegt oder ob durch die Art, wie die sich bildenden Krystalle sich über einander

Bisher glaubte man auch von dem Eisen, dafs es sich bei seiner Erstarrung ausdehne, und stützte sich hierbei auf folgende, den Eisengiefsern längst bekannte Thatsache: Wenn ein Stück festen Gufseisens in ein Gefäfs geworfen wird, welches mit geschmolzenem Eisen von derselben Qualität gefüllt ist, so schwimmt das erstere auf dem letzteren; es geschieht sogar, dafs das Stück Eisen, wenn man es auf den Boden hinabstöfst, sofort wieder emporsteigt, sobald die untertauchende Kraft nachläfst. Mallets sorgfältige Untersuchungen[1]) haben jedoch zu dem Ergebnis geführt, dafs das specifische Gewicht des erkalteten Gufseisens 7,170, des glutflüssigen hingegen nur 6,650 beträgt; jenes ist also specifisch schwerer als dieses. Demgemäfs beobachtete man auch keinerlei Volumenvergröfserung im Augenblick der Erstarrung. Die aus zwei auf einander passenden Schalen gebildete Kugelform, in welche Gufseisen gegossen wurde, zeigte nach Erkaltung der Masse keinerlei Expansion. Dementsprechend erwies sich auch der centrale Teil der in jene Schalen gegossenen Kugel weniger dicht als der äufsere, während doch das Gegenteil erwartet werden durfte, wenn mit dem Erstarren der Eisenmasse eine Volumenvergröfserung verbunden wäre. Wenn trotzdem Eisenstücke auf einer glutflüssigen Masse von Eisen schwimmen, so ist daran zu erinnern, dafs das specifische Gewicht dieses Metalls zwischen 7,7 und 6,3 schwankt; wo aber die schwimmenden Stücke aus gleichem Stoffe bestehen wie die glutflüssige Masse, da mufs eine abstofsende Kraft (repellent force) angenommen werden, deren Natur noch zu erforschen ist. Doch hat Mallet erkannt, dafs sie unter sonst gleichen Umständen abhängig ist von dem Verhältnis zwischen dem Volumen und der eingetauchten Oberfläche des Eisenstückes, sowie von dem Unterschied zwischen der Temperatur des starren und des glutflüssigen Eisens. Ähnlichen Verhältnissen zwischen Dichtigkeit und Aggregatzustand begegnen wir auch bei anderen Metallen, so bei Blei, welches nach Mallet im festen Zustande ein specifisches Gewicht von 11,361, im flüssigen aber nur von 11,07 hat; trotzdem schwimmen dünne Stücke mit breiter Oberfläche immer auf der geschmolzenen Bleimasse. Ein gleiches Verhalten zeigten auch feste Stücke aus Zinn, Zink, Antimon und Kupfer[2]), sowie Lava-

lagern, diese Wirkung hervorgebracht wird. Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. Bonn 1863. Bd. I, S. 134 ff.

[1]) Nature. Vol. X, Nr. 243 (25. June 1874), p. 156 sq. Vgl. auch Rob. Mallet: „On volcanic Energy“ in den Philosophical Transactions of the R. Soc. of London Vol. CLXIII (1873), p. 201.

[2]) F. Nies und A. Winkelmann in den Sitzungsberichten der mathem.-physik. Klasse der K. Akademie der Wissenschaften zu München. Bd. XI 1881), S. 63—107.

schollen [1]), woraus wir jedoch mit Rücksicht auf Mallets Erfahrungen noch keineswegs mit Sicherheit den Schlufs ableiten dürfen, dafs die flüssige Materie in diesen Fällen etwas dichter war als die erstarrte.

Von besonderer Bedeutung ist es, dafs bei der Verwandlung von geschichteten Silicatgesteinen, von welchen überall die Entscheidung ausgeht, in krystallinische und wasserfreie Felsarten ebenfalls stets eine Abnahme der Körpermasse stattfindet; sie verdichten sich also und werden specifisch schwerer. So verlieren die Gemengteile des Granits, wenn sie krystallinisch werden, nach Bischof 10 Prozent ihres Rauminhalts. Wir können uns also durch krystallinische Umbildungen nicht sowohl das Aufsteigen, sondern vielmehr das Sinken von Küsten wie bei Grönland und ebenso manche örtliche Senkungen in Gebirgen, die Entstehung von Gangklüften und Verwerfungen erklären. Da das Einschrumpfen nicht blofs auf die senkrechte Richtung verteilt bleibt, sondern auch in wagerechter Richtung eintreten wird, so müssen dadurch Spalten entstehen, sowohl auf dem festen Lande, wie auf der Sohle der Oceane. Jedenfalls entdecken wir bei dem Vorgang der krystallinischen Wandlung nicht die Kraft, die wir suchen; sie hat ganz sicherlich nichts mit der Aufrichtung von Gebirgen oder Hochländern zu thun, sondern tritt ihr sogar feindlich entgegen.

Man hat ferner die Chemie zu Hilfe gerufen, um das Aufsteigen der Gebirge zu begründen. Nach den Lehren Gustav Bischofs erfolgen, wenn Kohlensäure auf Silicatgesteine trifft, Zersetzungen, und das Zersetzte nimmt nach diesem Vorgange einen gröfseren Raum ein als vorher, mit anderen Worten: seine specifische Schwere vermindert sich, und sein Volumen nimmt zu. Diese Zunahme ist höchst beträchtlich. Bei Gneisen und Graniten schwankt sie von 30 bis 65 Prozent; bei Feldspaten erreicht sie 100 Prozent, und bei Basalten überschreitet sie sogar noch dieses Mafs, so dafs ein unzersetztes Basaltlager von einer deutschen Meile Mächtigkeit nach der Zersetzung um eine volle Meile, also selbst bis zu Gipfelhöhen des Himalaya, aufsteigen könnte, zumal mit der Zersetzung die Starrheit gelöst wird und aus Felsen mürbe, bewegliche Massen entstehen [2]). Dieses Aufquellen entspricht mit erfreulicher Genauigkeit den Erscheinungen, für welche die vergleichende Erdkunde eine Erklärung sucht; vor allem gewährt es uns die Vorstellung eines beständigen Kreislaufes; denn die zersetzten Gesteine gelangen früher, später oder sehr spät durch die Abreibung der

[1]) J. Nasmyth und J. Carpenter, Der Mond. Deutsche Ausgabe von H. J. Klein. 2. Aufl. Leipzig 1880. S. 23.

[2]) Gustav Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. Bonn 1863. Bd. I, S. 336 ff.

Festlande wieder auf die Sohle der Meere und werden dort mit der Zeit von der Erdwärme krystallisiert, um dann von neuem zersetzt und von neuem gehoben zu werden. Der innere Bau der Gebirge und das Aufsteigen von Hochebenen gleicht eben so gut einem Aufquellen von unten als einem Faltenwurf oder einer Runzelung um einen eingeschrumpften Glutball. Wir vermögen uns durch eine chemische Auflockerung des Erdinnern ohne grofse Anstrengung unserer Phantasie das Aufschwellen der Gebirge, der Hochebenen und so flach gewölbter Landmassen wie das europäische Rufsland vorzustellen. Noch viel wichtiger für uns ist es aber, dafs der bedeutungsvolle Zusammenhang der Erdfesten dann als eine Notwendigkeit sich ergiebt; denn die chemische Zersetzung geht von dem Trockenen nach unten und läfst das Land stets am Lande anwachsen, Gebirge nur auf einem bereits gehobenen Sockel emporsteigen, insofern als Zersetzungsmittel die Kohlensäure dienen mufs, welche nur auf dem trockenen Lande in hinreichender Menge vorbereitet wird, nämlich durch die Verwesung der Tier- und Pflanzenreste. Wohl enthält auch das Seewasser Kohlensäure, allein in vergleichsweise geringen Mengen [1]). Vielmehr treten nur Chlor, Schwefelsäure, Kalk, Kali, Magnesia und Natron bei der quantitativen Bestimmung des Salzgehaltes im Meer in erheblichen Bruchteilen auf. Das Meer hat zwar auch Tiere und Pflanzen; aber gerade sie sind es, welche teils die Kohlensäure fesseln oder beständig im Kreislauf erhalten, teils wie die Korallen Bauwerke aus kohlensaurer Kalkerde aufführen. Auf der Sohle der Oceane können daher Gebirge nicht entstehen. Bilden sich dort Spalten, wie wir zu vermuten genötigt waren, und dringt das Seewasser durch sie in die Tiefen ein, so werden, wo örtlich die Bedingungen zur Bildung von Laven vorhanden sind, vulkanische Inseln aufsteigen, nicht aber Gebirge, Festlande und Hochebenen. Das Aufquellen des Landes wird daher fortschreiten mit seinem Auftauchen aus dem Meer, wodurch das, was dem Ufersaume zunächst liegt, der Kohlensäure zugänglich wird, die dort neue Zersetzungen und ein neues Anschwellen hervorruft, so dafs überhaupt dieses Wachstum nur dort eine Grenze finden wird, wo die unzersetzten Silicatgesteine etwa aufhören.

Wir haben mit Hilfe einer Kraft, die Gustav Bischof zuerst beachten lehrte, also erklärt, warum die Festlande, die wir als Hoch-

[1]) In den von der norwegischen Nordmeerexpedition 1877 und 1878 untersuchten Meeresräumen kommen nach Hercules Tornöes zuverlässigen und eingehenden Untersuchungen im Durchschnitt 52,78 Milligramm neutral gebundene und 43,64 Milligramm sauer gebundene Kohlensäure auf den Liter Meerwasser. Journal für praktische Chemie. Bd. XX (1879), S. 44—75.

ebenen auf der Sohle eines durchschnittlich 1876 Faden tiefen Oceans erkannten, unter sich in geschlossenen Massen zusammenhängen, indem sich immer nur Land an Land bilden konnte. Wir sind uns dabei im stillen stets bewufst geblieben, dafs jene scharfsinnige Lehre von den Hebungskräften vorläufig noch unter die Hypothesen zählt. Der Vorgang der Zersetzung mufs nämlich immer in grofsen Tiefen stattgefunden haben, und es regt sich der Zweifel, den übrigens der Bonner Gelehrte selbst schon ausgesprochen hat, ob die chemische Kraft wirklich ausreiche, den Druck der auflagernden Schichten zu überwinden [1]). Auch eignen sich jene chemischen Umwandlungsprozesse nur dazu, die Entstehung geräumiger Tafelländer zu erklären; aber schwierig erscheint es, das Aufsteigen von Gebirgsketten und namentlich den auffallenden Parallelismus derselben z. B. im Schweizer Jura oder im Appalachen-System auf dieselben Kräfte zurückzuführen.

Niemand denkt wohl daran, dafs von den Kräften, welche wir überhaupt kennen, das Licht, die Elektricität oder der Magnetismus irgend eine Hebung der Erdoberfläche zu bewirken vermöchten; folglich haben wir nur die Wahl, sie entweder den chemischen Kräften oder der Erdwärme zuzuschreiben. Nun geziemt es gewifs nicht der vergleichenden Erdkunde, sich in den dreihundertjährigen Kampf zwischen Plutonisten und ihren Gegnern zu mischen und den alten Streit lösen zu wollen. Sie kann vielmehr nichts eifriger begehren als eine endgültige Entscheidung der Zweifel, um sich dem Sieger, wer er auch sei, heiteren Herzens zu unterwerfen; denn sie sucht ja bei der Geologie nur Antworten auf die Fragen, die sie anregt. Es gilt nun, noch die Ansichten der Plutonisten zu prüfen, und es wird sich zeigen, dafs sich auch die plutonische Erklärungsweise mit den von uns gefundenen Gesetzen verträgt.

Wir dürfen keine Zeit damit verschwenden, etwa den Erdbeben oder Vulkanen die Hebung der Gebirge zuzuschreiben; denn erstens sind die wahren Ursachen der Erdbeben in vielen Fällen nicht mit Sicherheit zu ermitteln; zweitens sind Senkungen infolge von Erdbeben weit häufiger beobachtet worden als Erhebungen, und drittens wissen wir von dem aufsteigenden Skandinavien, dafs es von Erdbeben fast gänzlich verschont wird. Vulkanische Ausbruchsmassen haben wohl sich selbst aufgeschüttet oder sind in Spalten aufgestiegen; niemals aber gelang es ihnen, angrenzende geschichtete Gebiete in

[1]) L. Cailletet wollte gefunden haben, dafs unter dem Drucke von 250—300 Atmosphären Zersetzungen fast ganz aufhören, wenn die Temperatur nicht gesteigert werde (Comptes rendus. Tome LXVIII (1869), p. 395). Er wurde jedoch rasch von Berthelot widerlegt (l. c. p. 536).

ansehnlichem Maſse zu heben oder zu verbiegen, womit jedoch keineswegs bestritten werden soll, daſs auf einem vulkanischen Gebiete die aufgeschütteten Massen gehoben werden konnten. „Nirgends lassen sich in den Alpen Aufrichtungen und Überstürzungen in direkte Beziehungen mit eruptiven Gesteinen bringen; ja gerade in dem Teile von Südtirol, wo die sedimentären Schichten bis zur Juraformation aufwärts vielfach von neueren Eruptivmassen durchsetzt sind, liegen sie weit regelmäſsiger und ursprünglicher über einander als da, wo solche Durchsetzungen fehlen"[1]). Eduard Sueſs[2]) weiſs nur von einem einzigen Fall, welcher bei Fontana Fredda in den Euganeen zu treffen ist, in welchem durch Trachyt eine ansehnliche Masse von Jura- und Kreidekalkstein abgerissen und gleichsam vorwärts geflöſst worden zu sein scheint. Sonst fehlt in den jüngeren vulkanischen Gebieten des mittleren Europa und Italien jede Spur einer Erhebung geschichteter Gebirge durch vulkanische Gesteine. Und ebenso wenig wie die vulkanischen Kräfte der Gegenwart im stande sind, in einer Breite von mehreren Meilen die geschichteten Gebirge zu heben (vgl. S. 218 f.), ebenso wenig vermochten jedenfalls in früheren Zeitaltern die sogenannten eruptiven Massen die geschichteten Lager aufzurichten; vielmehr benützten sie nur wie die Laven der Gegenwart die vorhandenen Spalten und Klüfte, um hervorzutreten und sich auszubreiten.

Nach der Anschauungsweise der Plutonisten kann man die Hebung der Kontinente und Gebirge vielleicht nicht einfacher und eleganter erklären, als es von Sir John Herschel in einem öffentlichen Vortrage (Familiar Lectures on Scientific Objects. p. 12 sq.) über Erdbeben und Vulkane geschehen ist. Denken wir uns, so lehrt er, die Erde heiſsflüssig unter einer starren Rinde und die Auflagerung dieser Rinde als Festlande und Meeresboden habe in jedem physischen Momente Gleichgewicht und Ruhe erlangt, so wird schon im nächsten dieses Gleichgewicht gestört; denn durch die Abreibung des festen Landes wird dieses leichter, während der Meeresboden durch die ihm zugeführten Festlandsstoffe, die sich auf ihm ablagern, um eben so viel mehr beschwert wird. Dadurch erfährt das geschmolzene Erdinnere unter der Sohle der See einen Druck, der es aus dem Gleichgewicht und seiner Ruhe verdrängt. Der flüssige Brei wird also seitlich zu entschlüpfen suchen und an den Rändern der Decke die Centralmassen der Gebirge emporpressen. Hier gleichen also Festland und Meeresboden zwei Wagschalen: wenn die eine belastet wird, steigt die andere

[1]) B. v. Cotta, Geologie der Gegenwart. S. 119.
[2]) Die Entstehung der Alpen. Wien 1875. S. 11 f.

empor. Halten wir hier nicht den Schlüssel zu dem Geheimnis, weshalb gerade an den Festlandsrändern unsere Gebirge aufgestiegen sind? Wenn wir dennoch zögern, diesen Aufschlufs uns anzueignen, so geschieht es, weil er immer nur zulässig wäre, wenn wir noch die erstarrte Rinde der Erde uns als sehr dünn vorstellen dürften. Es hat aber der Astronom Hopkins bewiesen, dafs die Rinde der Erde mindestens bis zu einem Viertel oder einem Fünftel ihres Halbmessers starr sein müsse, weil sich sonst das Vorrücken der Nachtgleichen und die Nutation der Erdachse nicht so zutragen könnten, wie sie beobachtet werden (vgl. S. 308). Aus diesem Grunde hauptsächlich, sowie aus rein geologischen Rücksichten hat Sir Charles Lyell in der Heimat Huttons, dem man die Renaissance der plutonistischen Lehren zuschreibt, ganz entschieden der Vermutung eines heifsflüssigen Erdinnern in mäfsigen Tiefen entsagt; auch hat er Gründe angegeben, weshalb er gerade die obige Vermutung Herschels für verfehlt hält. Offenbar dachte Sir John bei seiner Vermutung an die sinkende Südsee und an das Aufsteigen der amerikanischen Anden. Allein auch in diesem Falle stofsen wir auf grofse Schwierigkeiten; denn der Boden der Südsee ist fortwährend gesunken trotz der zugeführten Stoffe. Dies könnte sich aber nach Sir John Herschels Ansicht nur zutragen, wenn die aufgeschütteten Festlandsmassen eine gröfsere specifische Schwere besäfsen als das heifsflüssige Erdinnere, welches sie verdrängen sollen; wir haben aber im Gegenteil alle Ursache zu vermuten, dafs die Dichtigkeit der Stoffe nach der Tiefe zu beträchtlich wächst. Auch hätte das Wechselspiel der Wagschalen längst schon zum Stillstand gekommen sein müssen, während das Sinken und Aufsteigen der Länder noch heutigen Tages allerorten fortdauert. Endlich könnten wir uns nicht erklären, wie Grönland abwärts schweben sollte, da es doch durch Abreibungsverluste beständig erleichtert, die Decke der angrenzenden Meere aber zugleich durch Aufschüttungen stärker belastet wird.

Unter den neueren Versuchen, die Entstehung der Gebirge zu erklären, verdient der des amerikanischen Geologen Dana eine besondere Beachtung [1]). Dana setzt voraus, dafs die Erde vormals ein feuerflüssiger Körper war. Durch die unablässig fortschreitende Abkühlung erfuhr derselbe notwendig eine Verkürzung seines Durchmessers, und die bereits starr gewordene Rinde warf nun um den sich bildenden Hohlraum Falten. Die kontinentalen Flächen erlitten dem-

[1]) James D. Dana: „On some Results of the Earth's Contraction from cooling“ in dem American Journal of science and arts. Ser. III, Vol. V, p. 423—443. Vol. VI, p. 6—14. 161—172.

nach die geringste, die oceanischen Becken aber die gröfste Kontraktion; beide, kontinentale Flächen wie oceanische Becken, gingen somit aus der ungleichmäfsigen radialen Kontraktion („unequal radial contraction“) des Erdkörpers hervor. Bei weiterem Rückzuge der Erdrinde wurde namentlich auf die oceanischen Flanken eines jeden Kontinentes ein starker Druck ausgeübt, woraus dann folgte, dafs der mittlere Teil einer Kontinentalfläche allmählich muldenartig vertieft wurde. In das auf diese Weise entstandene Becken drang nun das Meer ein und lagerte hier seine Sedimente ab. Derartige Mulden (Geosynklinalen) sind die ersten Anfänge in der Entwicklung der Gebirge. Die Mächtigkeit der Ablagerungen in jenen Mulden ist natürlich örtlich sehr verschieden; in dem Appalachen-Gebiet von Pennsylvanien beträgt sie nach Hall 13000 Meter, welche Gröfse uns zugleich ein ungefähres Mafs für die stattgefundene Senkung in dem centralen Teile der Kontinente liefert. Da nun die Eigenwärme eines Ortes im Erdinnern von der Tiefe desselben unter der Erdoberfläche abhängig ist, so stieg die Schmelzhitze unter den überlagerten Teilen in dem angeführten Falle 13000 Meter empor und mufste demnach den tiefsten Teil der Mulde anschmelzen. Derselbe wurde in seiner Konsistenz geschwächt und gab dem Seitendrucke nach. So brach die Mulde auf ihrem Boden und wurde zusammengedrückt, wobei zugleich die in ihr abgelagerten Sedimentformationen bedeutende Störungen erlitten. Sie wurden zusammengebogen, geknickt, über einander geschoben, auf einen engeren Raum zusammengeprefst und hierdurch zugleich emporgehoben. Ein auf diese Weise entstandenes Gebirge nennt Dana ein Synklinorium. Ein solches wird meist von einer Anzahl paralleler Falten gebildet, deren Sättel geborsten und deshalb der zerstörenden Kraft der Meteorwasser in hohem Grade ausgesetzt sind. Haben diese durch lange Zeiträume hindurch gewirkt und die Sattelzonen tief ausgefurcht, so bleiben schliefslich mehrere synklinale Schichtenzonen in Gestalt paralleler Ketten stehen.

Doch wurden durch den seitlichen Druck nicht blofs muldenförmige Vertiefungen (Geosynklinalen) geschaffen, sondern auch höckerförmige Ausbauchungen (Geantiklinalen oder Antiklinoria), in denen oft grofse Areale der Erdoberfläche Tausende von Metern über ihr ehemaliges Niveau aufgerichtet wurden. Fossilienhaltige Lager in den höheren Regionen der Rocky Mountains beweisen z. B., dafs ein grofser Teil dieses Gebirges seit der Kreidezeit gegen 3000 Meter über den Meeresspiegel gehoben worden ist. Die gröfsere Energie der Erhebung, welche die jüngeren Gebirge zeigen, erklärt sich nach Dana daraus, dafs die Erdrinde damals an Steifheit zugenommen hatte, also widerstandsfähiger war und sich deshalb wirksamer nach oben drängen

ließs. Zu dieser Zeit vermehrte sich auch die Zahl der Spalten an den Rändern der Kontinente, wo die Gebirge emporgestiegen waren, weshalb hier fast ausschließslich die vulkanischen Ergüsse erfolgen.

Danas Hypothese paſst vorzüglich für den geologischen Bau Amerikas; man könnte fast sagen, sie sei ihm zugeschnitten. Die Randketten Nordamerikas sind nämlich parallel den Längenachsen der angrenzenden Oceane, was um so auffallender ist, als diese nahezu einen rechten Winkel mit einander bilden; denn die Alleghanies, die Green Mountains, der Blue Ridge u. a. auf der atlantischen Seite streichen gegen Südwest, die Sierra Nevada, der Wahsatch, die Rocky Mountains u. a. auf der pacifischen Seite nach Südost. Ferner sind die Falten der Appalachen nicht symmetrisch, sondern kehren immer ihren Steilabfall dem Meere zu, woraus deutlich hervorgeht, daſs der Sitz der gebirgerhebenden Kräfte an der oceanischen Seite zu suchen ist. Man ist zu dieser Annahme um so mehr berechtigt, als die höchsten Ketten dem Ostrande angehören. Ähnliches gilt von dem westlichen Randgebirge Nordamerikas. Endlich zeigt sich sogar, daſs das höhere Küstengebirge an dem gröſseren Oceane, das unbedeutendere hingegen an dem kleineren Meere liegt.

Auch Dana betont, wie fast alle neueren Geologen, daſs die Gebirgsbildung als ein auſserordentlich langsam fortschreitender Prozeſs zu betrachten sei. Die älteren Geologen huldigten der Ansicht, daſs in den Vorzeiten unseres Planeten gewaltigere Kräfte als gegenwärtig die Erdrinde gefaltet und zerborsten, sowie die Gestalt der Erdfesten in jähen Wechseln verändert hätten. Zu den Vertretern dieser Ansicht gehörte Leopold v. Buch, an den sich A. v. Humboldt getreu anschloſs, sowie Élie de Beaumont und Sir Roderick Murchison. Mit einem Ruck lieſsen sie Meerengen entstehen und gewaltige Fluten über das Festland hereinbrechen oder Gebirge plötzlich aus Spalten aufsteigen. Ihre Gegner nannten sie deshalb Katastrophisten, wie sie selbst wiederum Quietisten geheiſsen wurden. Dana[1]) schätzt die Länge der geologischen Perioden in folgender Weise: Die erste bedeutende Störung des Schichtenbaues im Gebiet der Appalachen wird durch die Erhebung der Green Mountains bezeichnet, welche am Schlusse der unteren Silurperiode beendet wurde. Wenn nun der Zeitraum vom Beginn des Silurs bis zur Gegenwart 50 Millionen Jahre umfaſst, — welche Schätzung die meisten der jetzigen Geologen für viel zu niedrig ansehen, — dann betrug derjenige, welcher zwischen dem Beginn der Primordialzeit und der Erhebung der Green Mountains liegt, wenigstens 10 Millionen Jahre. Die

[1]) American Journal of science and arts. Ser. III, Vol. V, p. 435.

nächste Epoche großer Schichtenstörung in dem Appalachen-Gebiet fällt in das Ende der Kohlenzeit, in welcher die Faltung der Alleghanies (von New-York bis Alabama) zum Abschluſs gelangte, d. h. sie trat (wenn wir die obigen Zeitmaſse zu Grunde legen) 35 Millionen Jahre[1]) nach dem Anfange des Silurs ein, so daſs die Appalachen mindestens 35 Millionen Jahre zu ihrem Aufbau brauchten. So hat der seitliche Druck, welcher mit der Kontraktion der Erde verbunden ist, sicher auch anderwärts auſserordentlich langer Zeiträume bedurft, um diejenigen Kräfte zu entfalten, welche selbst mächtige Schichten zu beugen, aufzurichten, zu sprengen vermochten.

Einen höchst wertvollen Beitrag zu der Lehre von der Entstehung der Gebirge hat neuerdings Eduard Sueſs in seiner Schrift „Die Entstehung der Alpen“ (Wien 1875) geliefert. Er findet wie Dana in dem Aufsteigen der Gebirge eine Äuſserung des Erstarrungsprozesses der Erdrinde, mit welchem eine Kontraktion tieferer Niveaux und eine Verschiebung der Erdoberfläche in horizontalem Sinne verknüpft war. Faltensysteme bildeten sich überall da, wo sich dieser Bewegung irgend ein Hindernis entgegenstellte. Ein Musterbeispiel einer durch einseitigen Druck hervorgerufenen, durch Stauung an fremden Massen festgehaltenen Faltung ist der Schweizer Jura. Von seinen Ketten ist die den Alpen zugekehrte die höchste; nach Nordwesten zu werden sie immer niedriger und gehen zuletzt in ein welliges Tafelland über. Der gänzliche Mangel einer krystallinischen Centralkette reinigt den Schweizer Jura völlig von dem Verdachte, daſs hier eruptive Gewalten die Gebirgsfalten erhoben haben. Der den Alpen zugewandte hohe und steile Rand aber belehrt uns, daſs sie einem von Südost her kommenden Drucke gehorchten, und der Parallelismus so vieler Ketten bezeugt uns auf das schlagendste, daſs so groſse und allgemeine Wirkungen nicht durch geringfügige, auf beschränktem Raume thätige Kräfte veranlaſst werden konnten, sondern nur durch eine einzige, mächtige, in horizontaler Richtung vorwärts drängende Kraft, durch welche die Schichten in ähnlicher Weise gefaltet wurden wie ein glatt liegendes Tuch durch seitlichen Druck der Hand. Dabei falteten sich die Schichten der Erdrinde, da sie verschiedenen Stadien der Erdabkühlung angehörten, an der Oberfläche stärker als in den Tiefen. Ein harmonischer Faltenwurf war aber auch deshalb unmöglich, weil in dem vielblättrigen Schichtenkomplex der Erdrinde die einzelnen Blätter der faltenden Kraft einen ungleichen Widerstand entgegensetzten und in

[1]) Diese Schätzungen der Längen geologischer Perioden sind auf die Maximalmächtigkeit der betreffenden Ablagerungen gegründet: sehr unsichere Data, aber die besten, welche wir besitzen.

der Tiefe zugleich die zunehmende Belastung eine regelrechte Faltung verhinderte.

Eine gleiche Entstehung wie für den Schweizer Jura fordert Sueſs auch für andere Gebirge, insbesondere für die Alpen. Mit treffenden Gründen widerlegt er die Anschauung, daſs das Emporsteigen derselben einst durch einen radial von der Tiefe der Erde gegen ihre Oberfläche wirkenden Druck verursacht wurde, welcher von den eruptiven Centralmassen ausging. Nach dieser Theorie muſste, was bisher fast allgemein als richtig galt, das als glutflüssige Masse emporgedrungene Gestein in der centralen Zone von zwei gleichwertigen Nebenzonen, den „nördlichen" und „südlichen Kalkalpen" umsäumt werden. Doch entspricht der geologische Bau unseres Hochgebirges keineswegs dieser Annahme; vielmehr entbehrt dasselbe nach neueren Untersuchungen dieser Symmetrie gänzlich. Sueſs betrachtet nun die Alpen nicht als einfaches, sondern als ein polygenetisches Gebirge, in welchem mehrere an einander geschobene Streifen vereinigt sind. Dies geschah aber durch tangentialen Schub, welcher von der konkaven Innenseite, d. h. von Süd (bei der Westhälfte der Alpen von Südost, bei den östlichen Karpathen von Südwest) her wirkte und an einer Reihe älterer Schollen von altkrystallinischem Gestein an der konvexen Auſsenseite im Norden auf unbesiegbaren Widerstand stieſs (z. B. an dem Massiv der Maurienne, dem Centralplateau von Frankreich, dem Wasgen- und Schwarzwald, der böhmischen Gneis- und Granitscholle, sowie der podolischen Granitplatte). Jene tangential wirkende Kraft führte die zahlreichen parallelen Faltungen und Überkippungen an der Auſsenseite, sowie die groſsartigen Verwerfungen an der Innenseite der Alpen herbei, welch letztere den eruptiven Massen häufig als Ausweg dienten. Ihr Empordringen hatte also die Verwerfungen nicht zur Folge, sondern zur Bedingung.

Der allgemeine Verlauf aller Gebirge zwischen dem Apennin und den Karpathen, sowie die übereinstimmende Lage der steilen Innenseite gegen Südost oder Süd oder Südwest im Gegensatz zu der gefalteten Auſsenseite weist unverkennbar auf die oben bezeichnete gemeinsame Aufrichtung aller dieser Ketten hin. Ebenso fanden sehr bedeutende horizontale Verschiebungen statt; denn es sind Ablagerungen, welche offenbar in verschiedenen Meeresteilen gebildet wurden, einander stellenweise räumlich nahe gerückt, wie z. B. der Gegensatz der karpathischen und auſserkarpathischen Kreideformation gezeigt hat.

A. Heims vorzügliche „Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluſs an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe" (Basel 1878) bestätigen in allen wesentlichen

Punkten die Resultate Sueſs'. Heim[1]) hat auch die Gröſse des Zusammenschubs für die Mittelalpen berechnet und ermittelt, daſs die gefaltete Zone gegenwärtig nur etwa halb so breit ist, als sie einst vor Beginn der Faltung war. Gelänge es jemals, die gegenwärtig 16 geogr. Meilen breite Zone der Mittelalpen auszuglätten, so würde diese ihre ursprüngliche Breite von 32 geogr. Meilen wieder erlangen. Auf dem Meridian, welcher die Mittelalpen schneidet, liegen noch mehrere andere Gebirge, nämlich nach Norden der Schwarzwald, mehrere der rheinischen Schiefergebirge, der Teutoburger Wald und das skandinavische Gebirge, nach Süden der Apennin, der Atlas und einige kleinere Bergländer. Nehmen wir für diese Gebirge zusammen einen Faltenwurf an, welcher doppelt so groſs ist als derjenige der Alpen, so erhalten wir als Umfangsverkürzung durch die gesamte Gebirgsbildung auf diesem Meridian 48 geogr. Meilen, d. h. das 0,009fache des Erdumfangs.

Die Lehren Danas lassen sich übrigens, worauf Sueſs ebenfalls aufmerksam macht, nicht auf die Erhebung der Alpen anwenden. Vor allem verbietet der gewundene, den Hindernissen an dem äuſseren Saum der Alpen bis zu einem gewissen Grade sich fügende Lauf der einzelnen Zweige des Alpensystems zuzugeben, daſs die Alpenketten lediglich durch eine Senkung eines erweiterten Mittelmeerbeckens und durch das Heraufdrücken des sinkenden Randes erzeugt worden seien[2]).

So stehen sich also hinsichtlich der Aufrichtung der Gebirge noch mannigfache Hypothesen gegenüber, und wenn auch bereits ein mächtiger Zug der Klärung durch das Nebelreich derselben hindurchgeht, so wird es doch, wie es scheint, noch einer langen, angestrengten Geistesarbeit bedürfen, das Problem der Gebirgserhebung einer völlig befriedigenden Lösung entgegenzuführen.

[1]) Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung etc. Basel 1878. Bd. II, S. 210—215.

[2]) Eduard Sueſs, Die Entstehung der Alpen. S. 53.

XVII. Über Terraindarstellung.

Auf allen älteren Karten erscheinen die Gebirge als Reihen kleiner Maulwurfshügel, als ob sie das Auge von der vorliegenden Ebene betrachtet. Die Nachteile dieser Methode springen sofort in die Augen: es bleibt uns hierbei nicht blofs die Neigung des von dem Beobachter abgewandten Gebirgsabhanges völlig unbekannt, sondern es kann auch derjenige Teil des Terrains, welcher sonst noch durch das Gebirge verdeckt wird, gar nicht kartographisch dargestellt werden. Erst später begann man die Unebenheiten der Erdoberfläche so zu behandeln, als ob der Beschauer über dem dargestellten Raume schwebe. So erhielten die Gebirge mit dachförmigen Abhängen ihre Raupengestalt. Die ersten Anfänge hiervon gewahrt man schon in Giuscardinis 1566 erschienener „Beschreibung Niederlands" (deutsch von Federmann), sowie auf der Karte, welche Konrad Gyger, ein Züricher Maler, im Jahre 1667 von seinem Heimatlande entwarf[1]. Auch Joh. Bapt. Homanns „Provincia Brisgoia" vom Jahre 1718, ferner Lacondamines Karte von Quito[2] (aus dem Jahre 1751) und die Karten zu Cooks Werken zeigen Schraffen; aber noch in dem Atlas von Malte Brun (Paris 1804) begegnen wir der Hügelform. Erst am Beginne dieses Jahrhunderts hat der Engländer Arrowsmith die dachförmige Schraffierung allgemein durchgeführt[3].

Zuerst freilich fehlte ihr jede methodische Durchbildung. Ein recht charakteristisches Beispiel dafür finden wir in einem Buche von Friedrich Schultz („Über den allgemeinen Zusammenhang der Höhen". Weimar 1803). Blind erfüllt von Wernerschen Gedanken,

[1]) Siegmund Günther, Lehrbuch der Geophysik. Stuttgart 1884. Bd. I, S. 287.

[2]) Zum Journal du Voyage. Paris 1751.

[3]) Pinkerton, Modern Geography. London 1807. Pref. p. XXXI.

wollte er keine andere gestaltende Kraft auf der Erdoberfläche gelten lassen als das Wasser; darum sah er auch die wasserscheidenden Linien als zusammenhängende Kontinentalrücken an. Er stellte nun den für leichtsinnige Kartenverfertiger verführerischen Satz auf: Wenn man ein richtiges Flufsnetz habe, so könne man das Terrain ohne weiteres in die Karte eintragen, indem man an Stelle der wasserscheidenden Linien die Gebirge einzeichnet. Wie unbrauchbar diese Methode ist, würde sofort hervortreten, wenn man es z. B. versuchen wollte, nach ihr eine Karte der Alleghanies zu entwerfen. Diese würden durch ein solches Verfahren in eine Menge von Nordwest nach Südost streichende Ketten zerlegt werden, während dieselben doch in Wirklichkeit von Südwest nach Nordost ziehen.

Ihre methodische Durchbildung empfing die dachförmige Schraffierung durch den königlich sächsischen Major J. G. Lehmann († 1811)[1]). Er gründete die bis dahin willkürlich gehandhabte Schraffierung auf feste Sätze und schuf eine Skala von 10 Stufen, je eine für 5° Zunahme der Neigung. Das leitende Gesetz dieser Methode lautet: Innerhalb jeder Stufe verhält sich die Stärke der Striche zu den leeren Räumen zwischen denselben wie der Böschungswinkel zu dem Ergänzungswinkel zu 45°. Bei Böschungswinkeln von 5, 10 oder 15° besteht demnach folgendes Verhältnis zwischen der Strichstärke und den weifsen Räumen zwischen den Schraffen:

bei 5° Neigung 5 : (45 — 5) oder 1 : 8,
bei 10° Neigung 10 : (45 — 10) oder 2 : 7,
bei 15° Neigung 15 : (45 — 15) oder 1 : 2.

Für Böschungen von 45° und darüber ist die eigentliche Schraffierung ausgeschlossen; derartige Gehänge werden, wie verschiedenartig auch ihre Steilheit sein mag, durch ein volles Schwarz bezeichnet. Durch diesen Mangel wurde die Korrektheit der Lehmannschen Terrainkarten kaum beeinträchtigt, da so steile Abhänge zu den gröfsten Seltenheiten gehören. Jeder wird zugeben, dafs diese Methode in der Theorie an Exaktheit nichts zu wünschen übrig läfst. Natürlich sind bei einzelnen Entwürfen je nach Beschaffenheit des Terrains und nach Mafsstab der Karte mancherlei Modifikationen zulässig; nur darf das Princip selbst in seiner Wahrheit und Einfachheit nicht erschüttert werden.

Eine Verletzung des Lehmannschen Princips ist jedoch die Einführung der seitlichen Beleuchtung. Man denkt sich nämlich das dargestellte Terrain von irgend einer Seite her von der Sonne bestrahlt,

[1]) Darstellung einer neuen Theorie der Bezeichnung der schiefen Flächen im Grundrifs. Leipzig 1799. Die Lehre der Situation-Zeichnung (herausgeg. von K. A. Becker und G. A. Fischer). Dresden 1816.

und zwar wählt man gewöhnlich nordwestliche Beleuchtung. Die Bilder einer Gebirgswelt gewinnen auf diese Weise eine gewisse Frische und eine landschaftliche Wirkung; sie werden aufserordentlich lebhaft und eindrucksvoll; allein die Exaktheit der Lehmannschen Zeichnung wird hierbei verloren. Einseitig beleuchtete Terrainbilder lassen uns über den Grad der Abschrägung auf der beleuchteten Seite stets im Zweifel; ja sie rufen unwillkürlich die Meinung hervor, dafs die sanfteren Neigungen auf der Lichtseite, die steileren hingegen auf der Schattenseite des Gebirges sich vorfinden. Wir bewundern die hohe technische Vollendung der Karten vom Alpen- und Pyrenäengebiete in der neuen Auflage von Stielers Handatlas. Ohne Zweifel stehen sie künstlerisch aufserordentlich hoch; allein da an den beleuchteten Stellen das geistige Auge die Terraingestaltung gleichsam sich selbst hineinzeichnen mufs, so wendet man sich im Grunde an die Phantasie, welche zu verdrängen doch recht eigentlich der Beruf der Wissenschaft ist.

Alle Kunst des Schraffierens scheitert jedoch, sobald die Darstellung einer Hochebene gefordert wird. Wir gelangen hier in der That zu der schwierigsten Aufgabe der Terrainzeichnung. Hochebenen besitzen gewöhnlich einen einseitigen, höchstens zweiseitigen Steilabsturz, während sie nach den übrigen Richtungen hin sanft und kaum merklich geneigt sind. Daher kommt es, dafs das Terrainbild einer Hochebene fast genau dieselbe Monotonie verrät wie dasjenige eines Tieflandes; ein deutlich hervortretender Unterschied zwischen beiden ist kaum zu bemerken. Deshalb macht weder das iberische, noch das skandinavische Plateau auf unseren Karten den Eindruck einer Hochebene; viel eher würde man weite Strecken derselben für Tiefländer halten. Derartige Gebiete können nur durch Herbeiziehung eines Flächenkolorits, d. h. auf Höhenschichtenkarten klar dargestellt werden.

Die Idee, Niveaukurven auf Karten einzuführen, verdanken wir Nicolaas Cruquius (1678—1754), einem ausgezeichneten holländischen Ingenieur, welcher jene Linien im Jahre 1729 brauchte, um das Flufsbett der Merwede darzustellen. Kurze Zeit darauf (1732) benützte der französische Geograph Philippe Buache (1700—1773) dasselbe Verfahren, um die Unebenheiten auf dem Grunde des Canal la Manche und eines Teils der Nordsee zu veranschaulichen; doch blieb sein Versuch, dasselbe aufs feste Land zu übertragen, ohne Bedeutung. Erst der Genfer Ducarla (1738—1816) erkannte die hohe Wichtigkeit dieser Methode für die Terrainzeichnung, wie aus seiner im Jahre 1771 der französischen Akademie vorgelegten Abhandlung klar hervorgeht. War er auch nicht selbst ausübender Kartograph, so regte

er doch wenigstens seinen Freund Dupain-Triel (geb. 1722, gest. 1805 in Paris) zum Entwurf der ersten Höhenschichtenkarte von Frankreich an. Diese erschien im Jahre 1791 und enthielt Niveaukurven im Vertikalabstand von 10 zu 10 Toisen.

Das Princip, Punkte von gleicher Meereshöhe durch Linien (Isohypsen) zu verbinden, ist so einfach und richtig, dafs man sich über sein spätes Hervortreten wundern könnte, wenn man nicht bedächte, dafs die Herstellung hypsometrischer Karten zahlreiche Höhenbestimmungen voraussetzt Konnte doch noch im Jahre 1807 A. v. Humboldt als Anhang zu seinen „Ideen zu einer Geographie der Pflanzen" auf der ganzen Erde nur 122 Gipfelmessungen aufzählen! Im Anfang dieses Jahrhunderts wufste man nicht einmal die Meereshöhen grofser Städte genau; man besafs von ihnen nur unsichere Barometermessungen, die um so trügerischer waren, je weiter binnenwärts die gemessenen Punkte lagen. Seit Anlegung der Eisenbahnen sind wenigstens die Bahnhofshöhen mit hinreichender Genauigkeit ermittelt, und doch sind wir noch nicht im stande, selbst von Ländern, die mit einem dichten Eisenbahnnetz überzogen sind, genaue hypsometrische Karten zu entwerfen. Zur Anfertigung einer solchen vom Königreich Sachsen sind nach Karl Bruhns mindestens 2000 gleichmäfsig über das Land verteilte Seehöhen, also durchschnittlich 7 auf die Quadratmeile notwendig. Da bis jetzt noch kein Land dieser Forderung Genüge leisten kann, so sind auch alle Höhenschichtenkarten, selbst die centraleuropäischer Länder, nur von provisorischem Werte.

In neuerer Zeit werden wir jedes Jahr durch das Erscheinen von Höhenschichtenkarten der verschiedensten Länder erfreut, und schon hört man hie und da die Meinung, dafs unsere bisherigen orographischen Karten gar bald völlig überflüssig werden. Davon kann aber nur dann die Rede sein, wenn der Vertikalabstand der Niveaukurven sich bis auf eine sehr kleine Gröfse verringert; selbst bei topographischen Aufnahmen in den grofsen Mafsstäben zwischen 1 : 20 000 und 1 : 40 000 genügt die Konstruktion von Niveaukurven von 5 bis 15 Meter Äquidistanz nicht völlig zur genauen Bezeichnung der Bodengestalt, sondern es bedarf noch der besonderen Markierung aller Schluchten, Mulden, Einsattelungen, scharfer Kanten u. s. w., also der Vereinigung von Hypsometrie und Orographie. „Während die orographische Karte durch die hypsographische übersichtliche, charakterisierende Gliederung und Aufklärung erhält, so empfängt die hypsographische Karte durch die orographische specialisierende Schärfe und Ergänzung. Es bleibt also die Vereinigung beider Elemente auf einem einzigen Bilde das Vollkommenste. Ducarla liefert das zwar schmuck-

lose, aber scharf bestimmende Gerippe, Lehmann das Gewand zur Erleichterung des schnellen Auffassens der Form“ [1]).

Zu den vorzüglichsten kartographischen Arbeiten der Neuzeit gehört die von J. M. Ziegler im Auftrage des Schweizer Generalstabes publizierte hypsometrische Karte der Schweiz; doch bemerken wir auch an ihr zwei Fehler, auf welche wir, da sie sich mehr oder weniger auf fast allen hypsometrischen Karten finden, besonders aufmerksam machen möchten.

Der erste betrifft die Wahl der Isohypsen. Es sind dort die Isohypsen von 2500, 2100, 1500, 1200, 900, 700, 500 und 400 Meter Meereshöhe ausgezeichnet; die vertikalen Isohypsenabstände betragen demnach in gleicher Reihenfolge 400, 600, 300, 300, 200 und 100 Meter. So gewählte Isohypsen teilen zwar ein Gebiet in gewisse Höhenregionen und deuten auch die vertikale Gliederung eines Landes in allgemeinen Zügen an; aber sie gestatten nicht, die Neigung der Abhänge ohne weiteres von der Karte abzulesen. Hierzu bedarf es vielmehr gleichabständiger Isohypsen. Diese erst gewähren uns ein scharf markiertes Bild nicht bloſs einzelner Höhenstufen, sondern der gesamten Elevationsverhältnisse; denn durch den gröſseren oder geringeren Abstand derselben von einander werden wir unmittelbar über die Abdachung der Gebirge, das Gefälle der Flüsse etc. belehrt. Wo die Isohypsen eng an einander rücken, erblicken wir schroffe Abstürze des Gebirges, wo sie hingegen in weiten Zwischenräumen auf einander folgen, sanfte Gehänge.

Der andere Fehler der Zieglerschen Karte besteht in der irrationalen Farbengebung; denn es sind Blau, Gelb, Grün und Rot in regelloser Mischung zur Bezeichnung der verschiedenen Höhenstufen verwandt. Es ist wirklich hohe Zeit, daſs die hypsometrischen Karten ihr buntes Gewand ablegen. Welch mühevolle Vergleichung und Anstrengung der Phantasie ist notwendig, wenn man aus dem bunten Gemisch der vielen Farben ein klares Terrainbild gewinnen will! Unsere Forderung in dieser Beziehung lautet: Die hypsometrische Karte darf nur eine Farbe besitzen, und für die einzelnen Höhenstufen sind verschiedene Nuancen derselben zu gebrauchen. Nun ist es die Frage, ob die Höhenstufen von unten nach oben dunkler oder lichter werden sollen. Uns erscheint es am zweckmäſsigsten, weil der Natur besser entsprechend, von den dunkeln zu den lichten Farbentönen aufwärts zu steigen; denn die Höhen genieſsen den Lichtblick der Sonne in reicherem Maſse als die Thäler. Indem wir die Hauptfarbe nach oben hin immer lichter werden lassen, empfangen die

[1]) E. v. Sydow in Behms Geographischem Jahrbuch. Bd. I (1866), S. 353 f.

Thäler ihre Schatten, und die Berge treten, lichtvoll gehoben, neben ihnen heraus: die Karte erhält so den Ausdruck eines plastischen Gemäldes[1]).

Bisher hat nur General v. Sonklar eine derartige Farbenwahl getroffen. Seine Karten der Ötzthaler und Zillerthaler Alpen, sowie der Hohen Tauern sind plastische Gemälde. Vergleicht man das Farbenchaos einer hypsometrischen Karte von Ziegler, welches eher das Terrainbild verhüllt, als zu den richtigen Eindrücken führt, mit der ruhigen Wirkung der Sonklarschen Darstellung, so kann kein Zweifel bestehen, dafs diese Methode die siegreiche bleiben mufs. Gegen diese Behandlung wehrt sich freilich die Landkarten-Industrie; denn da die meisten Ortsnamen dem Flachlande angehören, so müfsten sie auf dem dunklen Grunde unleserlich ausfallen. Doch würde diesem Übelstande abgeholfen, sobald man die Ortsnamen durch Aussparung auf dem dunklen Grunde weifs erscheinen liefse.

Eine Anwendung dieser Methode auf die Darstellung der Seetiefen ist leicht zu machen, wenn man, von einem lichten Blau an seichten Stellen ausgehend, zu einem dunklen für gröfsere Tiefen fortschreitet.

Zum Entwurf genauer Terrainbilder sind zahlreiche und genaue Höhenbestimmungen erforderlich. Für unseren Erdtheil wird es wohl in Zukunft hieran nicht fehlen; denn fast in allen Staaten Europas wird — dank dem regen Eisenbahnbau — mit grofsem Fleifs an der Ermittlung solcher gearbeitet. Durch das in zahlreichen europäischen Staaten (zuerst in Sachsen und Bayern) zur Geltung gekommene Präcisions-Nivellement werden die Höhendifferenzen auf 1 Kilometer Weglänge bis zu 1 Millimeter, auf 100 Kilometer Weglänge bis zu 10 Millimeter Genauigkeit gemessen (die Fehler wachsen nämlich wegen häufiger Kompensation sicher nur wie die Quadratwurzeln der Entfernung). Zahlreiche derartige Höhenbestimmungen werden uns in Zukunft Mittel an die Hand geben, wenn auch vielleicht nur für kleinere Gebiete, die genauesten hypsometrischen Karten zu entwerfen.

Sind dieselben auch heute schon für die Terrainkenntnis von hohem Wert, so wird man doch einstmals noch einen anderen unschätzbaren Gewinn aus ihnen ziehen. Wir reden immer vom Aufsteigen der Gebirge, weil wir Merkmale eines stattgefundenen Aufsteigens mit unseren Augen wahrgenommen haben. Dauert aber nicht vielleicht die Hebung der Gebirge fort? Lag die Bauflur dieser oder jener Stadt vor einem Jahrtausend genau so hoch über dem Meere wie gegenwärtig? Ist sie vielleicht gestiegen oder gesunken? Auf alle diese

[1]) Vgl. Gustav Leipoldt in Andree-Peschel, Physikalisch-statistischer Atlas des Deutschen Reichs. Leipzig 1876. Erläuternder Text, S. 3.

Fragen sind wir geneigt zu antworten, dafs die vorhandenen Niveaux sich nicht mehr ändern. Eine Bürgschaft für diese gute Meinung besitzen wir aber nirgends; denn jedenfalls gebrauchen solche Schwankungen lange Zeit und entziehen sich vor einer Nivellierung jeder Beobachtung. Die neuesten strengen Höhenmessungen und die auf sie gegründeten hypsometrischen Karten gewähren späteren Generationen die Mittel, bestimmt aussprechen zu können: Die Oberfläche der Erde ruht oder sie bewegt sich örtlich in diesem oder jenem Sinne. Übrigens hat auch die „Europäische Gradmessung" die Untersuchung etwaiger Dislokationen durch periodisch zu wiederholende Nivellements in ihr Programm aufgenommen.

Sind Schüler im Schraffieren noch ungeübt oder hat man nur einen schematischen Zweck beim Entwurf der Karte im Auge, so ist es zulässig, die Gebirgskämme durch einfache Linien zu bezeichnen. Mangelhaft bleibt diese Methode immer, weil sie die gröfsere oder geringere Neigung der Kammgehänge in keiner Weise berücksichtigt. Vor allen Dingen aber läfst sie uns im Stich, wenn es gilt, Gebirgsstöcke (z. B. die Ötzthaler Gruppe) oder Massengebirge (z. B. den Harz) oder Hochebenen (wie die skandinavische) zu zeichnen. Im letzteren Falle könnte man sich dadurch helfen, dafs man ein liegendes dreiseitiges Prisma mit einseitigem Steilabsturz (seitwärts von oben gesehen) in die Karte eintrüge.

Wesentlich gefördert wird die Übersichtlichkeit des Terrainbildes durch Querschnitte, die am besten am Rande der Karte so angebracht werden, dafs sie auch im einzelnen mit ihr korrespondieren. Schon ehe Buache zu seiner Niveaukarte des Canal la Manche (erschienen im Jahre 1752) ein Längenprofil des Seebodens von der Nordsee durch den Canal bis zum Atlantischen Ocean entworfen hatte, waren Höhenquerschnitte im kleinen bereits bei Berg- und Kanalbauten im Gebrauch [1]). Die ersten Querprofile von Gebirgen und zwar von Anden, Pyrenäen und Alpen, oder richtiger eine bildliche Darstellung von deren Gipfeln, schuf der Franzose Pasumot im Jahre 1783 [2]). Die den Zähnen einer Säge gleichenden Gipfel wurden in Höhenskalen eingezeichnet, wie es noch jetzt häufig geschieht. Weit ernster und für die Wissenschaft erspriefslicher war der Entwurf von Höhenquerschnitten ganzer Länder. Das erste Länderprofil hat Dupain-Triel 1791 geliefert in seiner Karte: La France considérée dans les

[1]) A. v. Humboldt, Essai politique sur la Nouvelle Espagne. Paris 1811. Tome I, p. 150.

[2]) Pasumots Bild von den Anden-, Pyrenäen- und Alpengipfeln erschien bei Rozier, Observations sur la physique. Tome XXIII. Paris 1783. Septembre. p. 193 sq.

différentes hauteurs de ses plaines. Namentlich gelangte man durch A. v. Humboldt, der im Querschnitt den senkrechten Bau Spaniens und Mexicos enthüllt hatte[1]), zum vollen Bewufstsein ihrer Bedeutung[2]).

Auch bei A. v. Humboldt begegnen wir jedoch der Neigung, die Kammgehänge steiler darzustellen, als sie es in Wirklichkeit sind, und ebenso tritt bei den später gezeichneten Profilen dieses Bestreben mehr oder minder hervor. Erst seit General v. Sonklar den wichtigen Begriff des Gebirgssockels in die Orometrie eingeführt hat[3]), werden wir davor bewahrt, das Gefäll der Kammgehänge zu überschätzen. Er denkt sich ebenso wie A. v. Humboldt die Gebirgsketten als liegende Prismen; doch ruht die als Grundfläche dienende Seitenfläche nicht in der Höhe des Meeresspiegels, sondern auf einem als vierseitiges stehendes Prisma zu betrachtenden Sockel. Ist die Höhe des Gebirgssockels, d. h. die Thalhöhe ermittelt und kennt man ferner die Kammhöhe, sowie den horizontalen Abstand des Gebirgsfufses von der Kammlinie, so läfst sich übrigens der mittlere Neigungswinkel der Kammgehänge leicht berechnen nach dem Ausdruck $\operatorname{tang} \alpha = \frac{n}{m}$, wo α den zu suchenden Winkel, n die relative Höhe des betreffenden Punktes der Kammlinie und m die horizontale Entfernung dieses Punktes vom Fufspunkte der Gebirgskette bedeutet[4]).

Über den Betrag solcher Winkel herrschten vor K. v. Sonklars Arbeiten übertriebene Abschätzungen, bei denen eine Sinnestäuschung offenbar mit im Spiele war. In den fünf von v. Sonklar vermessenen Gruppen der Ostalpen überschreitet die mittlere Schroffheit der Gehänge nicht einen Winkel von 27° und sinkt in der Hochschwab-Gruppe sogar auf 17° 11′ herab[5]). Während Alpenneulinge überall „lotrechte Felsen“ wahrnehmen, sind in Wirklichkeit Abstürze von 90° äufserst selten und nur auf ganz kleine Ausdehnung beschränkt. Als man vor Jahren Fallversuche in der Schweiz machen wollte und deshalb nach lotrechten Felswänden suchte, fand man thatsächlich nur zwei dazu geeignete Punkte. Ganz ausnahmsweise

[1]) A. v. Humboldt hat in den Ansichten der Natur (Bd. I, S. 59) seinen Anspruch auf die Erfindung der ganze Länder darstellenden Querprofile sehr entschieden geltend gemacht; offenbar war ihm die Arbeit Dupain-Triels nicht bekannt.

[2]) O. Peschel, Geschichte der Erdkunde. 2. Aufl. (herausgeg. von S. Ruge). S. 699 ff.

[3]) K. v. Sonklar, Allgemeine Orographie. Wien 1873. S. 187.

[4]) K. v. Sonklar, l. c. S. 79.

[5]) l. c. S. 185.

jähe Abstürze trifft man am Nordwestabfall der Zugspitze gegen den Eibsee (55 bis 62°), am gleichen Abhange des Mönches (63°) und des Matterhorns (50°); der ostsüdöstliche Abhang des letzteren zeigt eine Neigung von 55°. Felswände von 80 bis 85° Neigung sind in den Alpen und im Himalaya nur an wenigen Punkten vorhanden; solche von 90° aber gehören zu den gröfsten Seltenheiten[1]). Die Kämme des Himalaya fallen bekanntlich steil zur hindostanischen Ebene ab, und doch sind nach Emil v. Schlagintweit[2]) beim Anstieg auf den Kilometer Entfernung nur 140 Meter Steigung zu überwinden, d. h. die Gröfse der Steigung verhält sich zur Länge des Weges wie 1 : 7 (s. Fig. 95).

Fig. 95.



Mittlere Neigung des Südabhangs des Himalaya.

Die falschen Vorstellungen von der Neigung der Kammgehänge sind zu einem nicht geringen Teil eine Folge der fast ausnahmslos verzerrten Querprofile auf unseren Karten. Um die Berge recht markiert erscheinen zu lassen, giebt man der Höhe möglichst grofse, der Länge möglichst kleine Mafse, und so entstehen jene Bergkarikaturen, welche im Kindesalter unser Staunen erwecken. Wie enttäuscht sind wir dann, wenn uns in späteren Jahren die Berge in ihrer wahren Gestalt entgegentreten! Wir fordern daher: Entweder möge man naturgetreue Profile entwerfen, d. h. solche mit gleichen Höhen- und Längenmafsstäben, oder man möge sie zum Zwecke der Terraindarstellung überhaupt nicht brauchen, da sie sonst die wahre Erkenntnis mehr hindern als fördern.

Noch aus einem anderen Grunde überschätzen wir mit Vorliebe die Neigung der Abhänge. Die Projektion der Gegenstände nach aufsen mit beiden Augen und die darauf basierende Gabe der Triangulation mit unseren Augen erweist sich bei Beurteilung von Entfernungen um so weniger zuverlässig, je weiter der beobachtete Gegenstand uns entrückt ist. Wir sind deshalb genötigt, den Abstand weit entfernter Gegenstände meist nach ihrer Farbe zu bemessen. Farbentöne hängen unter anderem auch von der Beschaffenheit der Luft ab. Da nun die Luft nach oben meist reiner wird, so sehen wir die Spitzen eines Gebirges häufig klarer als die unteren

[1]) Herm. v. Schlagintweit-Sakünlünski, Reisen in Indien und Hochasien. Jena 1871. Bd. II, S. 262.

[2]) Zeitschrift Globus. Bd. XXIX (1876), Nr. 16, S. 248.

Partien; deshalb aber rücken wir sie unwillkürlich im Geiste näher an uns heran, und so bilden sich in unserer Phantasie die steileren Abhänge. Namentlich täuschen die Schneespitzen der Berge in dieser Hinsicht. Ihr helles Weifs bringt die Gegenstände näher, und so wächst in unserer Vorstellung der Neigungswinkel. Um gröfseren Irrungen von vornherein vorzubeugen, ist es gut, sich äufsere Zeichen für gewisse Neigungsverhältnisse zu merken, z. B. am nächtlichen Sternenhimmel zu studieren, welche Bewegung des Auges erforderlich ist, damit es einen Stern, der in irgend welcher Höhe über dem Horizont steht, fasse. Dabei wird sich ungefähr ergeben, dafs sich bei gerader Stellung des Kopfes durch blofse Bewegung der Augenmuskeln das Gesichtsfeld bis 30 Grad über den Horizont erhebt, dafs man aber, um den Blick 30 bis 50 Grad über denselben emporzulenken, mit den Halswirbeln, schliefslich aber bei einer Höhe des Objektes von mehr als 60 Grad über dem Horizont mit der ganzen Wirbelsäule eine kleine Bewegung zu vollziehen hat.

Um so vielfach vorhandene irrige Meinungen über Abdachungsverhältnisse zu beseitigen, führen wir noch folgende Neigungswerte an, welche Élie de Beaumont im vierten Teile der Mémoires pour servir à une description géologique de la France mitgeteilt hat[1]):

Dem Auge kaum bemerkbare Neigung . . .	0° 10′	oder	1/344 [2])
Für das Auge schon sehr merkliche Neigung .	0° 20′	„	1/172
Gröfste bei den Hauptstrafsen in Frankreich erlaubte Neigung	2° 52′	„	1/20
Maximalneigung der Simplonstrafse	5° 43′	„	1/40
Neigung, welche für bergab fahrendes Fuhrwerk schon gefährlich ist.	9° 10′	„	1/6,2
Für Fuhrwerk nicht mehr zu überwindende Neigung	13° 0′	„	1/4,33
Gröfste Neigung einer mit Steinplatten belegten Fläche, auf welcher man noch sicher auf- und niedergehen kann, ...	25° 0′	„	1/2,14
Neigung einer Treppe, deren Stufen doppelt so breit als hoch sind.	26° 34′	„	1/2
Gröfste Neigung, welche beladene Maultiere noch zu passieren vermögen, ...	29° 0′	„	1/1,8
Neigung eines von Menschen kaum noch zu erklimmenden Abhanges	37° 0′	„	1/1,33

[1]) Nach C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Leipzig 1858. Bd. I, S. 311.

[2]) Der Neigungsquotient 1/344 sagt aus, dafs die geneigte Ebene auf 344 Meter ihrer Horizontalprojektion 1 Meter hoch ansteigt.

Diese Zahlen beweisen unzweideutig, dafs unser Mifstrauen gegen die Mehrzahl der vorhandenen Querprofile völlig gerechtfertigt ist; denn nicht selten werden hier Abhänge, die von Reisenden wiederholt überschritten worden sind, mit einer Neigung von 40 bis 60° gegen die Horizontale in die Profile eingetragen.

Endlich sei noch eine Art der Terraindarstellung erwähnt: die **Reliefarbeit**. Sie erscheint mehr als irgend eine andere dazu geeignet, ein lebendiges Bild von der senkrechten Gliederung eines Landes zu geben; denn hier werden uns Miniaturmodelle der Erdräume, nicht blofs sichtbar, sondern sogar tastbare Abbilder gewährt. Die ältesten erhabenen Karten entstanden da, wo die Natur durch ihr reich bewegtes Relief am meisten dazu herausforderte: in der Schweiz, und das früheste Denkmal dieser Art ist die grofse Arbeit aus Wachs, welche **Ludwig Pfyffer** im Jahre 1766 begann und 1785 vollendete[1]. In unserer überall nach Anschauung ringenden Zeit werden noch immer viele Reliefkarten angefertigt, und doch müssen wir die meisten derselben, namentlich aber die Reliefgloben, geradezu als hassenswert bezeichnen, weil sie lügen. Höhen- und Flächenmafsstäbe sind nämlich fast stets möglichst verschieden; infolge dessen werden diese Reliefs zu Zerrbildern, welche nicht wieder auszutilgende falsche Vorstellungen erzeugen.

Zur näheren Charakteristik der Reliefgloben diene folgendes. Der höchste Berg der Erde, der Gaurisankar, hat eine Höhe von 8840 Metern, also von ca. $1\frac{1}{5}$ geogr. Meilen, d. i. von ungefähr $\frac{1}{1430}$ des Erddurchmessers. Auf einem Globus von $\frac{3}{4}$ Meter Durchmesser (also einem Globus von bedeutender Gröfse) würde demnach jene Dimension auf ca. $\frac{1}{2}$ Millimeter, d. h. auf die Dicke eines kleinen silbernen Zwanzigpfennig-Stückes zu reduzieren sein; unsere Alpen aber würden die Höhe eines Sandkörnchens erhalten müssen.

Es soll übrigens nicht geleugnet werden, dafs es auch wirklich gute Reliefs giebt. Wir erinnern namentlich an die von **Winkler** in München angefertigten. **Winkler** entwirft die Höhen genau nach demselben Mafsstabe wie die horizontalen Entfernungen; dazu giebt er Flüssen, Wäldern, Feldern, Weiden besondere Farben, ebenso dem verschiedenen Gestein der Oberflächenschichten. In solchem Falle sind die Reliefs treffliche Anschauungsmittel und in hohem Grade zur raschen und klaren Orientierung über ein Terrain geeignet.

[1]) **Studer**, Geschichte der Geographie der Schweiz. S. 293.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei. Stephan Geibel & Co. in Altenburg.